



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

MIKKO KOIRIKIVI

TELOJEN KUNNOSTUS PAPERIKONEEN RUNKOVÄLISSÄ

Diplomityö

Tarkastaja: Dosentti Juha Miettinen
Tarkastaja ja aihe hyväksytty
Teknisten tieteiden tiedekuntaneu-
voston kokouksessa 6. helmikuuta
2013

TIIVISTELMÄ

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Konetekniikan koulutusohjelma

KOIRIKIVI, MIKKO: Telojen kunnostus paperikoneen runkovälissä

Diplomityö, 72 sivua, 6 liitesivua

Huhtikuu 2013

Pääaine: Konejärjestelmien suunnittelu

Tarkastaja: Dosentti Juha Miettinen

Avainsanat: Koneistus, hionta, pinnoitus, paperikone, runkoväli

Tässä työssä on tutkittu paperitehtaalla tapahtuvien telojen kunnossapitotöiden suorittamista telahuoltoverstaan sijaan paperikoneella irrottamatta teloja niiden laitepaikoilta. Tutkimuksessa perehdyttiin ensin paperinvalmistusprosessiin sekä prosessin asettamiin yleisimpiin vaatimuksiin telojen muodolle, pinnoitteille ja dynaamiselle käyttäytymiselle. Myös telahuollon nykytilasta selvitettiin haastatteleamalla tehdaspalvelun toimihenkilöitä ja työntekijöitä sekä tutkimalla tehtaan sisäisiä tietokantoja. Tehtaan omat tietokannat tarjosivat myös hyvin historiatietoja eri huoltokohteista ja huoltojen määrästä ja toteutustavasta.

Osana tätä työtä haastateltiin läpi paperikonepuolella toimivia yrityksiä, jotka toimittavat erilaisia huoltopalveluja. Haastatteluissa selvitettiin yleisimpiä tehtyjä töitä, työmenetelmiä sekä niillä saavutettavia hyötyjä paperin valmistuksen kannalta. Tältä pohjalta pohdittiin millaisia resursseja tehtaan oma kunnossapito tarvitsee suorittaakseen vastaavia töitä ja millaisia töitä on ylipäättään kannattavaa tehdä. Mahdollisia runkovälitöitä ja menetelmiä varten kehitettiin kannattavuuden arviointimenetelmiä teknisestä ja taloudellisesta näkökulmasta.

Tutkimukseen sisältyi kokeellinen osuus, jossa tutkittiin paperikoneen kalanterille hankitun laitteiston ajoparametreja ja laitteiston käytöstä tehtiin kalanterin termotelan huoltohiontaan sopivat ohjeet, jotka riippuvat vaurion suuruudesta ja vaurion tyypistä.

Tutkimuksen tuloksena otettiin ensiaskeleet tehtaan oman käyttökunnossapidon runkovälihiontojen suhteen ja todettiin niiden soveltuvan osaksi etenkin ennakoimattomien pienen mittakaavan vaurioiden korjaamiseen. Suurimpien saavutettujen kustannussäästöjen havaittiin tulevan yleisimmin joko tuotannon pullokaulojen tehostumisesta, lopputuotteen laadun parantumisesta tai pinnoitesäästöistä. Yleispätevää ohjetta kannattavuudesta ei voida kuitenkaan antaa, vaan tilanne on tarkasteltava aina tapauskohtaisesti.

Tämän työn tavoitteena on ollut selvittää paperikoneella tehtävien huoltohiontojen kannattavuutta sekä sopivien huoltokohteiden ja menetelmien soveltuvuutta kyseisiin kohteisiin. Mielestäni tässä työssä päästiin tavoitteeseen, sillä kannattavuuden tutkimiseen sekä työmenetelmien ja kohteiden etsimiseen on luotu tässä työssä ratkaisumallit.

ABSTRACT

TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Master's Degree Programme in Mechanical Engineering

KOIRIKIVI, MIKKO: Onsite maintenance of paper machine rolls

Master of Science Thesis, 72 pages, 6 Appendix pages

April 2013

Major: Design of Machine Systems

Examiner: Adjunct Professor Juha Miettinen

Keywords: On-site, grinding, milling, machining, coating, paper machine

The main subject of this thesis is to study possibilities for on-site maintenance of rolls of a paper machine without removing the rolls out of the paper machine and transporting them to the roll workshop. Approaching the research problem was started by a common introduction to paper making process and by getting familiarized about demands for roll shape tolerances, most common surface coatings and shape errors caused by dynamic roll behavior. The current state of roll service at Jokilaakso paper mills was monitored by interviewing maintenance officers and employees and by studying the internal roll database of the maintenance department. The internal database seemed to offer a great amount of good information and historical data about maintained rolls, number of services carried out on a specific roll and maintenance methods.

As a part of this study several companies were asked about their on-site service offering, most common tasks carried out on-site and about the benefits achieved with these tasks achieved in the paper manufacturing process. Based on the information about different on-site maintenance methods, it was considered what types of resources the maintenance department of the paper mill needs in order to carry out the on-site work and is the value achieved through the new maintenance method worth developing it. Different evaluation methods for the viability of the possible on-site jobs were made from technical and economical point of view.

The study included also an experimental part, where some on-site grinding equipment was tested on a soft calendar. Main goal of the test carried out was to find right grinding parameters and make instructions for repairing different kinds of damages depending on the dimension and type of the roll surfaces damage.

As a result of this thesis, first steps in on-site grinding conducted by the paper mills' own maintenance workers in Jokilaakso were taken and a notification concerning the in-machine installed equipment was made, that it is highly suitable for repairing unexpected small-scale roll surface damages. The largest cost savings were mostly achieved either from increased quality of the product, increased utilization of a bottle neck part of the paper making process or from cost savings of roll coatings. However, it is difficult to give a universal way to achieve savings, because there are many variables and the profitability calculation have to be done case by case.

Purpose of this study was to evaluate profitability of on-site grindings done at paper machine in different positions and to find suitable maintenance methods for those destinations where some value can be created through on-site grindings. In my opinion, this study was successful and gives an answer to both of these questions.

ALKUSANAT

Kirjoittaessani näitä alkusanoja, alan ymmärtää, että usean vuoden uurastus opintojen parissa alkaa olla loppusuoralla. Opinnoissa edistymisen suurena tukena ovat olleet mm. perhe, opintojen suhteen joustavat työnantajat kuin Hervannassa samaan aikaan opiskelleet opiskelukaverit. Mielenkiintoisista opiskeluvuosista ja sisällöltään hyvistä kursseista kuuluvat isot kiitokset TTY:n Teknisen suunnittelun laitoksen henkilökunnalle ja etenkin työn tarkastajalle ja ohjaajalle dosentti Juha Miettiselle työn saattamisesta alkuvaiheesta oikeille raiteille ja nopeasta avusta sitä tarvittaessa.

UPM:n Jokilaakson tehtailla haluan erityisesti kiittää tehdaspalvelun ja tuotannon työntekijöitä avusta tämän opinnäytetyön testien tekemiseen. Erityisesti PK3:n ja PK4:n henkilökunta ansaitsee kiitokset joustavuutensa osalta työssä tehtyihin testeihin liittyen. Haluan myös kiittää tämän työn valvojana toimintaa Risto Rämästä, jonka pitkä kokemus kehitysinsinöörinä auttoi keskittymään olennaisiin kohteisiin tehtaalla sekä tiedonsaanti eri kohteista sujui erittäin hyvin.

Työtä varten haastateltiin usean eri yrityksen työntekijöitä, joiden laaja kokemus ja näkökulmat tällä hetkellä jo tehtyihin huoltotöihin paperikoneella olivat ensisijaisen tärkeässä asemassa erilaisten menetelmien kartoituksessa sekä niiden hyvien puolin yhdistelemisessä ja ymmärtämisessä. Nämä haastattelut auttoivat pitkälti ymmärtämään paperikoneella tehtävien töiden vaatimia valmisteluja sekä hahmottamaan erilaisten töiden vaatimusasteen ja niitä varten vaadittuja laitteita ja mittavälineitä.

15.4.2013

Hervannassa

Yhteystiedot:

Mikko Koirikivi
Keskustie 21 B 22
40100 Jyväskylä
+358400157750

SISÄLLYS

1	Johdanto	1
2	Paperikoneen asettamat haasteet ja toleranssit.....	3
2.1	Yleisiä vaatimuksia paperikoneen teloille	3
2.2	Viiraosa	6
2.3	Puristinosaa.....	8
2.4	Kuivatusosa.....	8
2.5	Päällystysasema.....	9
2.6	Kalanteri	10
2.7	Rullain	11
2.8	Pituusleikkuri	11
2.9	Yhteenvedo paperikoneen osista.....	12
3	Telojen hionta tehtaan kunnossapito-osastolla.....	13
3.1	Hiontamenetelmiä	14
3.1.1	Kivihionta	15
3.1.2	Nauhahionta	15
3.1.3	Viimeistelyhionta.....	16
3.2	Hiomanauhat	17
3.3	Hionnan virhelähteitä ja mittaustavat.....	18
3.3.1	Säteisheitto, ympyrämaisuus ja pyörähdysakselin virhe	20
3.3.2	Aksiaalinen halkaisijavaihtelu ja siihen liittyvät käsitteet.....	22
3.3.3	Telan vaipan paksuus, epätasapaino ja pinnankarheus	23
4	Tutkimusmenetelmät.....	26
4.1	Kunnossapidon raportit jokilaakson tehtailta.....	26
4.2	Lähdekirjallisuus	26
4.3	Kokeelliset menetelmät.....	26
4.4	Haastattelut.....	27
5	Runkovälikoneistus- ja mittausten menetelmiä	29
5.1	Viira- ja puristinosalla tehtävät työt.....	29
5.2	Kunnostustyöt kuivatusosalla.....	30
5.3	Pituusleikkuri ja rullain	32
5.4	Työt kalantereilla, päällystys- ja pintaliimausasemilla	33
5.5	Yleisimmät pinnoitustekniikat	33
5.6	Lastuavat työt runkovälissä.....	35
5.7	Telojen mittausmenetelmiä paperikoneella.....	35
5.7.1	Referenssisuoraan perustuva mittaus.....	37
6	Näkökulmia telahuollon resurssien kohdistamiseen	39
6.1	Sopivan runkovälihiontamenetelmän valinta.....	39
6.2	Runkovälikohteiden kartoittaminen tehdastasolla	41
6.3	Huoltotoiminnon suorittaminen itse tai ulkoistettuna	42

6.4	Menetelmiä positiokohtaisen runkovälityön kannattavuuden arviointiin	44
6.5	Runkovälityökohteen työsuunnittelu	48
7	Hiontatestejä Jokilaakson paperikoneilla ja niiden tulosten tarkastelua	51
7.1	Testit Jämsänkoscilla	51
7.1.1	Telan 4002 kunnostushionta	55
7.2	Yhteenvedo termotelan hiontatesteistä telahiomakoneella	59
7.3	Testit polymeeritelalla	60
7.4	Hionnat paperikoneelle sijoitetulla laitteistolla	63
8	Johtopäätökset	65
8.1	Yhteenvedo	65
8.2	Jatkotutkimus ja kehitystyön tarpeet	66
8.2.1	Hiomanauhat	66
8.2.2	Telan dynaamisen muodon korjaus paperikoneella	67
8.2.3	Kevyt hiomakone paperikoneen yhteyteen	68
8.2.4	Hiontalaitteet lyhyen matkan tarkkaan hiontaan	68
8.2.5	Mittaustekniikka	68
	Lähteet	70
	Liitteet	72

TERMIT JA NIIDEN MÄÄRITELMÄT

3d-hionta	hiottavan telan pinnasta tehdään 3-ulotteinen muotokartta, jonka mukaan telan muotovirheet korjataan
APS	Air Plasma Spray - pinnoitusmenetelmä
ARC	Electric ARC Wire Spray - pinnoitusmenetelmä
CMC	selluloosa johdannainen pintaliimauskemikaali
finisointi	finisoinnilla tarkoitetaan teloille tehtävää viimeistelyhiontaa
formaatio	formaatiolla tarkoitetaan paperin pienimittakaavaista neliö-massan vaihtelua
HVAF	High velocity air fuel – pinnoitusmenetelmä
HVOF	High velocity oxy fuel – pinnoitusmenetelmä
kaavari	kaavari on terä joka painettuna telan pintaa vasten irrottaa pinnasta siihen kuulumattomat partikkelit
KP	paperikoneen käyttöpuoli
kuiva-ainepitoisuus	kuiva-ainepitoisuus kertoo kuiva-aineen osuuden paperin rainasta prosentteina, loppu on prosessivettä
kunnossapito	kunnossapidolla tarkoitetaan tässä yhteydessä paperikoneella tehtäviä ennakkoivia ja korjaavia kunnossapitotehtäviä
LWC-paperi	kevyesti päällystetty paperi
nippi	kahden telan toisiaan vasten puristetun telan alue, jossa telat ovat kiinni toisissaan
nousujälki	hiomatarvikkeen epäsymmetrisen kontaktin vuoksi telan koko matkalla kulkeva kiertainen jälki
on-site työ	on koneen tai laitteen alkuperäisessä käyttöympäristössä laitteelle suoritettu työ
opasiteetti	opasiteetilla tarkoitetaan väliaineen läpinäkyvyyttä
polymeeritela	kalanterilla käytetty pehmeäpintainen tela
positio	positiolla tarkoitetaan prosessin kannalta yksilöitävän jär- kevän kokoisen kone-elimien paikkaa koneessa
P & J	Pusey & Jones kovuusmitta-asteikko, jota käytetään kumi- pintaisten telojen kovuuden mittaamiseen
PVA	polyvinyylialkoholi
Ra-arvo	pinnankarheuden neliöllinen keskipoikkeama
Ry-arvo	pinnankarheuden maksimipoikkeama mitta-alueella
Rz-arvo	pinnankarheuden mitta-alueen 5 mittauksen maksimipoik- keaman keskiarvo
SC-paperi	superkalanteroitu paperi
soft-kalanteri	yksi tai kaksinippinen kalanteri, jossa on kovan ja pehmeän telan muodostama nippi
termotela	termotela on paperikoneen kalanterin lämmitetty kovapin- tainen tela

1 JOHDANTO

Kuten kaikilla prosessiteollisuuden laitteilla, on myös paperikoneen tärkein toimenpide tehdä itse lopputuotetta. Toimiva prosessi vaatii kunnossapitoa, jonka tärkeä osa ovat suunnitellut huoltoseisokit. Huoltoseisokin aikana tehdään erilaisia kunnossapitotöitä, joissa prosessin ongelmakohtia pyritään korjaamaan tai huoltamaan ennakoivasti.

Osassa huoltotöistä huollettava osa irrotetaan koneesta ja viedään muualle huollettavaksi. Esimerkiksi kalanterin tela saatetaan viedä sellaisenaan telahiomoon, jossa sen pinta hiotaan vastaamaan prosessin vaatimuksia. Joissain tapauksissa purkutyö on kuitenkin hyvin aikaa vievää, eikä korvaavaa varaosaa ole välttämättä investoitu kovan hinnan tai hyvin pitkän käyttöiän vuoksi. Tällöin voi olla järkevää suorittaa huoltotyö paperikoneella, jossa kyseinen osa huolletaan sen omassa positiossaan mahdollisimman pienellä purkutyöllä. Oikein suunniteltu runkovälissä tehty työ mahdollistaa lyhyemmän seisokin prosessiin ja säästää esimerkiksi kuljetuskustannuksia sekä vapauttaa kunnossapidon resursseja muihin kunnossapidon tehtäviin. Huoltotöistä, jotka suoritetaan huoltokohteen omassa käyttöympäristössä, käytetään myös joskus nimitystä ”on-site – työ”.

Kun paperikoneen tela irrotetaan koneesta huoltoa varten, on syynä useimmiten joko telassa tai lopputuotteessa havaittava vika, jonka vuoksi tela korvataan varatelalla. Vaihtoehtoisesti kyseisen telan kohdalla oletetun vikaantumisvälin täytyminen voi olla syyinä telan vaihtoon. Tämä herättää kuitenkin kysymyksen, onko mahdollinen vika kuitenkin niin pieni, että se voitaisiin korjata esimerkiksi lyhyessä pesuseisokissa tai mahdollisesti jopa käynnin aikana? Vastaavasti etenkin harvemmin vaihdetuilla teloilla ei välttämättä ole kyetty tekemään täysin luotettavaa vaihtoväliennustetta ja kunnossapidolla on vaikea päätös tehtävänä, huolletaanko tela varmuuden vuoksi vai voisiko sen kunnon todeta varmuudella riittävän hyväksi sen omassa positiossaan.

Tämän työn tavoite on tutkia paperikoneella tapahtuvia hiontoja ja koneistuksiin sekä hahmottaa näiden tarjoamia mahdollisuuksia kunnossapidon kannalta. Työssä tullaan myös sivuamaan pinnoituksia, jotka ovat usein edellytyksenä mahdolliselle korjaushionnalle tai –koneistukselle.

Paperikone laitteena on todella laaja käsite ja siksi tutkimusongelmaa on pyritty lokeroimaan pienempiin loogisiin osa-alueisiin, josta esitellään myöhemmin tarkempi jako. Tämän on tarkoitus jatkossa helpottaa vertailua eri menetelmien soveltamisesta erityyppisille paperikoneille, sillä erilaiset paperikoneet koostuvat kuitenkin joka tapauksessa samantyyppisistä rakenne ratkaisuksista.

Työn tavoitteena ei ole tehdä esimerkiksi kunnossapitolaitteiden suunnittelua yksityiskohtaisella tasolla, vaan tutkimuksen pääpaino on tarkastella erilaisten menetelmien soveltuvuutta paperikoneen eri positioihin esimerkiksi prosessilta vaadittujen toleranssien sekä kunnossapitotyölle sallitun järkevän aikataulun puitteissa. Myös mahdollisia mittausmenetelmiä ja niiden tarjontaa tullaan tarkastelemaan, sillä vaadittujen tolerans-

sien osoittaminen todeksi on oleellinen osa kunnossapitotyötä ja tehtaan laatu järjestelmää.

Kunnossapitopuolelle paperikoneisiin liittyen on tehty runsaasti erilaisia julkaisuja mahdollisista virhelähteistä prosessissa sekä niiden vaikutuksesta itse paperinvalmistusprosessiin. Näihin tutkimuksiin tullaan viittaamaan eri kohdissa tutkimusta, jotta ongelmien ja niiden suuruusluokan ymmärtäminen teoreettisella tasolla olisi mahdollista. Tämän lisäksi perehdytään Suomen sisäiseen palvelun tarjontaan haastatteleamalla alan eri toimijoita. Eri huoltopalveluntarjoajien haastatteluilla haetaan kokonaiskuvaa huoltotarjonnan mahdollisuuksista tällä hetkellä ja kehitetään erilaisia toimintamalleja tukemaan nykyisiä menetelmiä ja yhdistetään niitä.

Työssä on tavoitteena tehdä myös kokeellisia testejä, joilla pyritään kehittämään jo olemassa olevan hiontalaitteiston käyttöä ja tehokkuutta. Testejä tehdään paperikoneella ja telahiomossa, jossa jälkimmäisessä on muodon muutoksien toteamiseen tarkat mittalaitteet. Hiomatesteillä on tarkoitus hakea parametreja kohdalleen turvallisessa ympäristössä, sillä paperikoneella työskennellessä tähän ei yleensä ole riittävästi aikaa käytettävissä. Menetelmien testaus käytännössä on tärkeä osa työtä ja se auttaa osittain myös hahmottamaan mahdolliset ja mahdottomat työtavat haastaviin runkovälitöihin siirryttäessä.

2 PAPERIKONEEN ASETTAMAT HAASTEET JA TOLERANSSIT

Paperikoneita paperilajista riippumatta yhdistää sama perustoimintaperiaate, jossa viiraosalle yhdeksi tasoksi ruiskutettavasta massasta kuivattamalla saadaan useiden pyörivien telojen kautta muokattua paperia rullaimelle siihen muotoon, että se on valmis mahdollista jatkokäsittelyä varten.

Ajettavasta paperilajista riippuen paperin kuivatukseen, pinnoitukseen, silittämiseen ja osallistuvat paperikoneen osat voivat olla hyvin eri järjestyksessä eikä kaikkia osia tarvita välttämättä ollenkaan. Päädyin kuitenkin jaottelemaan paperikoneen seuraaviin alatoimintoihin, koska nämä toiminnot yksitellen löytyvät useimmista koneista ja niitä yhdistävät teknisesti monet asiat, kuten vaadittavat toleranssit, prosessin asettaman haasteet ja käyttöympäristö.

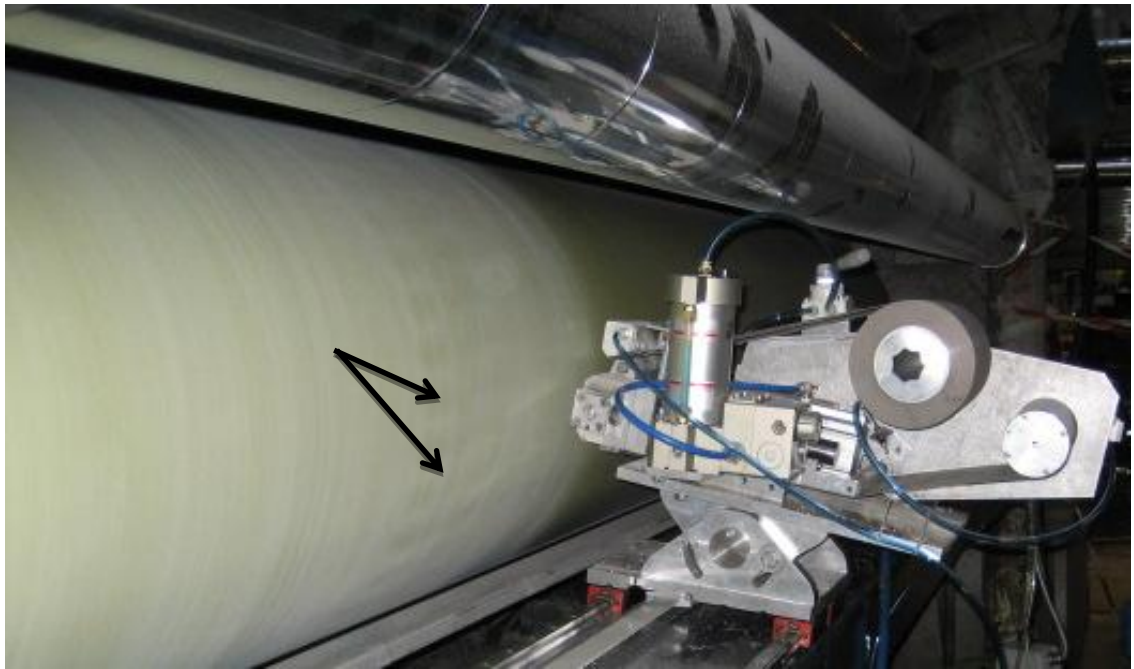
Koska jo olemassa olevien paperikoneiden kaikkiin osiin on jo valmistustekniikka olemassa, lähdetään tässä työssä liikenteeseen selvittämällä jo olemassa olevien valmistustekniikoiden soveltamista paperikoneella keskittyen lähinnä telapintojen hiontaan ja koneistamiseen. Valmiiden huoltomenetelmien, kuten esimerkiksi telahiomakoneen toimintaperiaatteesta ja virhelähteistä otetaan selvää ja näillä kriteereillä pyritään arvioimaan runkovälilaitteiden ja -menetelmien mahdollisuuksia soveltua vastaavasta tehtävästä. [Paperitekniikka]

2.1 Yleisiä vaatimuksia paperikoneen teloille

Tässä luvussa etsitään yleisiä vaatimuksia, jotka ovat ominaisia kyseiselle paperikoneen toiminnalliselle osalle. Vaatimuksia ja lähtökohtaisia ongelmia haettaessa on keskitytty niihin asioihin, joihin pinnoittamisella, koneistuksilla ja hionnoilla kyetään vaikuttamaan, eli pinnoite ja geometriavirheistä johtuviin vikoihin, jotka haittaavat paperikoneen ajettavuutta tai tuottavuutta.

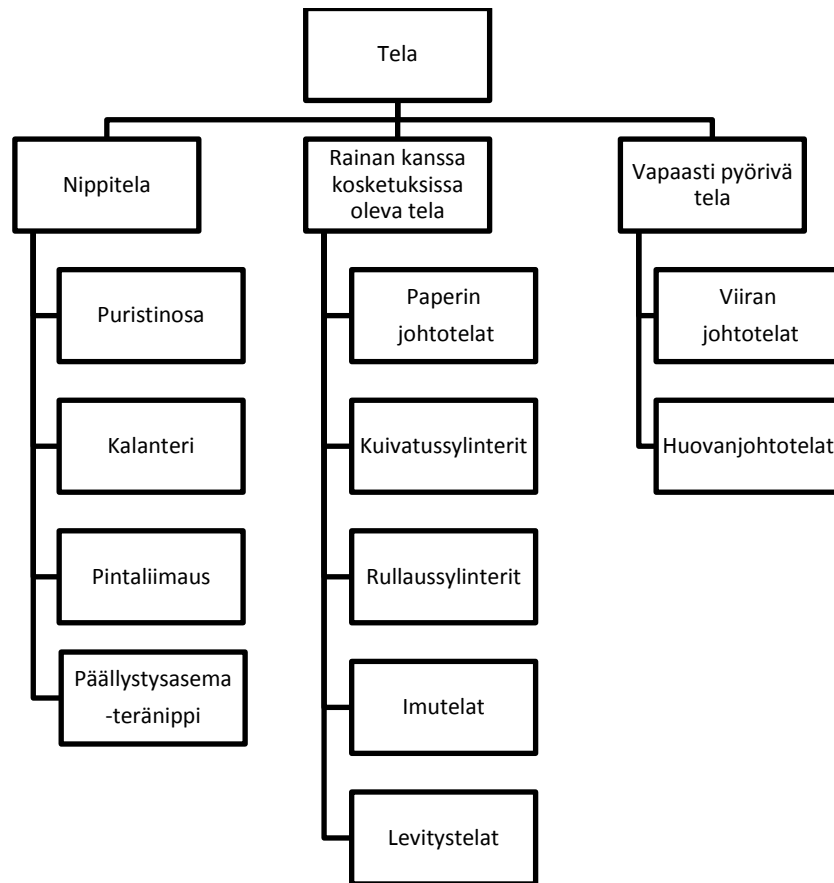
Paperikoneella positiosta riippumatta herkimpiä kohtia geometriavirheiden suhteen ovat erilaiset nippitelat, joita on esimerkiksi päällystysasemalla, kalanterilla ja puristinosalla. Nämä telat ovat yleensä vakituisia huoltokohteita ja näihin positiioihin on olemassa varatelat. Nippitelat ovat yleensä kovasti kuormitettuja ja alttiita nippivärähtelylle, koska etenkin useamman telan tapauksissa mahdollisia taajuuksia, jotka osuvat koko mekanismin jollekin ominaisvärähtelytaajuudelle, on useita. Nippivärähtelyssä esiintyvät voimat saava telojen pinnoitteissa hitaasti aikaa plastisia muodonmuutoksia, jolloin telan muoto ei ehdi palautua ennen seuraavaa kuormitus sykliä. Tällöin voidaan myös puhua ns. barring ilmiöstä tai vastaavasti raipottumasta, jossa syntyy palautumattoman ”piparkakku” – ympyrämäisyysprofiilin omaava tela. Barring ilmiö aiheuttaa mm. melua, ratakatkoja sekä formaation vaihteluja paperiin. Kuvassa 2.1 on esimerkki raipottumasta, jonka suuruus aallon pohjalta aallon harjalle on alle mikrometrin luok-

kaa. Tämä raipottuma näkyi telan omissa värähtelymittauksissa sekä visuaalisesti telan hionnan alkuvaiheessa, jossa hiomapää ei ole vielä ehtinyt raipottuman aaltojen pohjal-
le.



Kuva 2.1. Hionnan esiin tuoma raipottuma telan keskialueella.

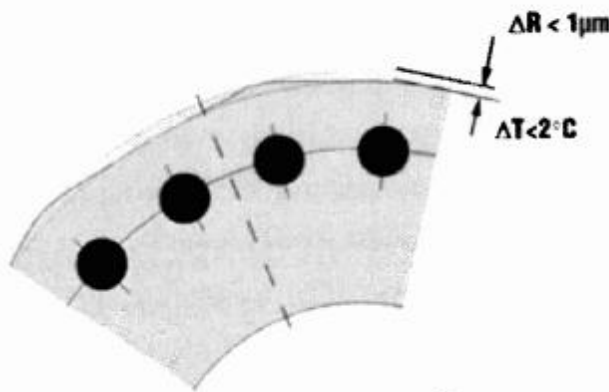
Vapaasti pyörivät telat, kuten esimerkiksi paperinjohtotelat tai kuivasylinterit eivät ole muodon suhteen niin tarkkoja, mutta ne eivät saa jättää lopputuotteeseen jälkeä ja niiden tulee pysyä puhtaana eivätkä saa geometrialtaan haitata koneen ajettavuutta tai vaikuttaa negatiivisesti paperin formaatioon. Kolmantena ryhmänä voidaan pitää teloja, jotka eivät ole nippiteloja tai kosketuksissa paperin kanssa. Näitä teloja koskevat pääasiassa samat vaatimukset kuin rainan kanssa tekemisissä olevia teloja, sillä huonokuntoinen tela voi esimerkiksi kuluttaa jäljen kuivatusosan viiraan, joka jättää taas jäljen lopputuotteeseen. Kuvassa 2.2 on esitelty karkea jaotteluerilaisista telatyypeistä, joka perustuu telan kunnon kriittisyyteen lopputuotteen kannalta. Jaottelu on tehty tämän työn tarpeiden näkökulmasta lajitella teloja eri ryhmiin.



Kuva 2.2. Telatyyppejen jaottelu paperin kohtaamisen kannalta.

Telojen muotovirheet voidaan jakaa staattisiin, dynaamisiin virheisiin. Staattiset virheet voivat olla esimerkiksi telojen pintojen virheitä, laakerointivirheitä tai alkukäyryydestä johtuvia virheitä. Näihin virheisiin voidaan usein vaikuttaa telan kunnostuksen yhteydessä telahiomakoneella. Dynaamiset virheet syntyvät telan ajon aikana vaikuttavien voimien aikaan saamista deformaatioista. Tällaisen voiman lähde voi olla esimerkiksi nippikuormitus tai epätasapaino telassa. Dynaamiselle virheelle on tyypillistä sen riippuvuus ajonopeudesta. Dynaamisiin virheisiin voi Raippa III – projektin loppuraportin mukaan vaikuttaa mm. tasapainotuksella, ajonopeuden muutoksella tai kannatusrakenneiden erilaisilla tuennoilla.

Lämpölaajenemisesta johtuviin geometriavirheisiin ovat syynä yleensä emähomogeeninen materiaali tai esimerkiksi periferiaporattujen termotelojen vaippaan syntyvä jaksollinen lämpöjakauma, joka aiheuttaa barring ilmiötä. Raipottuman syntymistä termotelalla on havainnollistettu kuvassa 2.3. [Raippa III]



Kuva 2.3 Esimerkkikuva lämpötilan vaikutuksesta termotelan vaippaan. [Juhanko 2011]

Erilaisista käynninaikaisista virheistä johtuen telojen valmistusvaiheessa tapahtuva mitaus ja todellinen ajoaikainen muoto eivät yleensä ole yhteneviä. Aiheesta on tehty useita julkaisuja ja niiden pohjalta on pyritty simuloimaan telan käyttäytymistä paperinvalmistusprosessissa. Simulaatioiden pohjalta on tehty telakohtaisesti erilaisia muotokompensaatio-ohjelmia telahiomakoneelle, jolloin telan staattinen muoto ei välttämättä ole täysin optimaalinen, mutta tela toimii prosessissa paremmin kuin staattisessa tilassa muodossaan oleva tela. [Kuosmanen]

2.2 Viiraosa

Viiraosalla noin 0,5-1 % kuiva-ainepitoisuuden omaava massasuspensio suihkutetaan paperikoneen perälaatikolta mahdollisimman tasaisena kerroksena viiralle, josta sen kuivatus paperiksi alkaa. Suurin osa rainanmuodostuksesta ja paperin formaatiosta saavutetaan viiraosalla, jonka jälkeisillä vaiheilla on hyvin vähäinen vaikutus esimerkiksi formaatioon suhteutettuna viiraosaan. Viiraosalla asettavuuden kannalta tärkeitä asioita ovat riittävän kuiva-ainepitoisuuden saavuttaminen ennen puristinosaa, tasainen rainanmuodostus ja vedenpoisto joilla saavutetaan paperin hyvä formaatio. Viiraosalla olevat telat ja muut vedenpoistoon liittyvät kone-elimet eivät saa aiheuttaa häiriötä näihin tekijöihin. Kuvassa 2.4 voidaan havaita paperin sisältävän viiraosan alkupäässä pääosin vettä. [Knowpap, Paperiteknikka]



Kuva 2.4 Paperi viiraosalla. Kuvassa näkyvissä viira ja sen alla vedenpoistoelementtejä. [Knowpap]

Viiraosan teloja ovat mm. kumipintaiset viiranjohtotelat sekä kulmatelat. Suurin osa viiranjohtoteloista on kovuudeltaan 0 P&J ja osa vetoteloista on pehmeämpiä ollen noin 15 P&J kovia, joista pehmeämmät telat kuluvat hieman kovia teloja nopeammin. Viiranjohtoteloja hiotaan aika harvoin ja ne otetaan irti yleensä jonkun muun huollon yhteydessä, joka voi olla esimerkiksi laakerointihuolto.

Haponkestävällä vaipalla olevat imutelat ovat olennaisia vedenpoiston kannalta. Niissä oleellista on telan tiiveys sekä vedenpoistoreikien pysyminen aukinaisena. Näiden vaatimusten täyttämiseksi telan tiivistelijoita vaihdetaan usein sekä sitä pestään sisältä päin. Imutelaa joudutaan hiomaan aika harvoin sen muodon takia ja sen hiontaväli voi olla useita vuosia. Tällöin siinä voi olla muotovirhettä millin kymmenyksien luokkaa, joka koostuu lähinnä viiran reuna-alueiden kuluttamista montuista telan päätyalueella. Jokilaakson tehtailla ajettavan paperilajin täyteainepitoisuus vaikuttaa huomattavasti imutelan vaipan kulumiseen. Rauhalan mukaan esimerkiksi SC-paperikoneilla telojen kuluminen yleensäkin on voimakkaampaa kuin vähemmän täyteainetta sisältävällä LWC-paperilla. Knowpap tietokannan mukaan ”*tärkeimmät nykyisin paperinvalmistuksessa käytettävät täyteaineet ovat kaoliini, talkki, kalsiumkarbonaatti, kipsi, saostettu kalsiumkarbonaatti (PCC), titaanidioksidi ja synteettiset silikaatit.*” [Knowpap, Tehdaspalvelu]

Muita kuluvia vedenpoistoelementtejä viiraosalla ovat mm. keraamiset vedenpoistolistat, joiden yli kulkevaan viiraan syntyy listan viisteestä johtuen alipaine ja vettä imeytyy pois paperista. Listat otetaan käytännössä aina irti ja lähetetään tehtaan ulkopuoliselle palveluntarjoajalle hiontaan. [Tehdaspalvelu]

2.3 Puristinosa

Puristinosalle tultaessa paperin kuiva-ainepitoisuus on noin 20 %. Puristinosan tarkoituksena on poistaa vettä ja lujittaa rainaa riittävästi ennen kuivatusosalle siirtymistä. Puristuminen lisää myös huomattavasti kuitujen välisiä sidoksia ja lujittaa rainaa tätä kautta. [Knowpap]

Puristinosalla on pääasiassa vapaasti pyöriviä puristinhuovan johtoteloja sekä puristimen nippiteloja, joita ovat yleensä keraamipintaiset keskitelat sekä puristimen imutela, joka on Jokilaakson koneilla polymeeripintainen tela. Puristinosalta huollettavia teloja ovat pääasiassa puristustapahtumaan osallistuvat nippitelat, joista keskitelalla yleisin hionnan syy on pinnan karheuden sileneminen ja vastatelalla sen kulumisen pois muototoleranssistaan. Keskitelan sileneminen aiheuttaa ratakatkoja paperikoneella ja lisää vetoeroa rainan heikon telasta irtoamisen vuoksi. Keskitelan pinnoite voidaan pelkän sileneminen tapauksessa palauttaa entiselleen finisoimalla, jos siihen tulee esimerkiksi huovan katkeamisesta johtuva suurempi vaurio, voidaan keskitela hioa muotoonsa joitain kertoja ennen kuin se lähetetään uudestaan pinnoitettavaksi. [Tehdaspalvelu]

Osa puristinosan teloista on etenkin leveämmillä paperikoneilla vyöhykesäädetyjä. Vyöhykesäädetyt telat ovat tehokkaita vaimentamaan edellä mainittua ongelmallista nippivärähtelyä ja mahdollistavat [Paperitekniikka]

2.4 Kuivatusosa

Mekaanisilla vedenpoistomenetelmillä, joita ovat pääosassa viiraosalla keskipakovoima sekä alipaine ja puristin osalla puristaminen, on taloudellisesti kannattavaa saada paperin kuiva-ainepitoisuus noin 50 % tasolle. Tämän jälkeen rainan kuivatus tapahtuu pääosin haihduttamalla. Suurin osa paperin kuivatuksesta tapahtuu kontaktikuivatuksena, jossa kuivaussylinteriin johdettu paineistettu höyry lämmittää sylinterin pintaa, josta lämpö johtuu paperiin ja haihduttaa pois kosteutta. Kuivatussylinteriä paperikoneella voi olla useampia kymmeniä. Tämän lisäksi kuivatusosalla on kymmenittäin viiranjohtoteloja, jotka eivät ole suoraan kontaktissa paperirainan kanssa, mutta ohjaavat kuitenkin kuivatusosan viiroja. [Paperitekniikka]

Kuivatusosalla ajettavuuden tärkeä osa-alue on tasainen lämmönsiirto kuivatussylinteristä paperiin koko koneen poikkisuunnassa. Likaantuminen ja ruostuminen ovat ongelmia, jotka häiritsevät lämmönsiirtoa. Lika pyritään pitämään poissa kaavaroimalla ja siksi sylinterin pinnan hyvät kaavarointiominaisuudet ovat tärkeässä roolissa paperikoneella. Viiranjohtoteloilla esiintyy likaantumista, jota voi olla telan ympärillä useamman millin kerros. Tämä kuluttaa kuivatusosan viiroja ja aiheuttaa epätasapainoa johtoteloille, joka saa aikaan dynaamisen taipuman ja värähtelyä. Kuvassa 2.5 on näkyvissä osa kuivatusosasta, josta voimme havaita kuivatusosan vaikean huollettavuuden huuvan ja vaikeasti purettavien rakenteiden vuoksi.



Kuva 2.5 Kuivatusosa huuvan ovet auki. [Knowpap]

Kuivatussylintereillä prosessista tullut lika etenkin alkupään sylintereillä sekä ruoste pitkällä aikavälillä aiheuttavat huoltotarvetta. Likaantumista voidaan estää erilaisilla kaavarointimenetelmillä tai pinnoittamalla sylinteri jollain hyvät irrotusominaisuudet omaavalla pinnalla. Kuivatussylintereissä esiintyy myös jonkin verran muotovirheitä, joita voidaan korjata hiomalla. Koska kuivatussylinteri on paineastia, on sille määritelty tarkkaan pienin mahdollinen seinämävahvuus. Tämän vuoksi kuivatussylintereitä joudutaan usein pahojen muotovirheiden tai kulumien tapauksessa täyttö pinnoittamaan ennen hiontaa. Koska kuivatussylintereillä esiintyy huoltotarvetta melko harvoin ja ne ovat työläitä irrottaa, huoleltaan ne käytännössä aina omissa positioissaan. [Paperiteknikka]

2.5 Päällystysasema

Paperia päällystetään päällystysasemalla, joka voi kalanterin tavoin olla joko kiinteästi paperikoneella yleensä kuivatusosien välissä tai omana ulkopuolisena päällystysyksikönään. Erillisiä päällystystekniikoita on lukuisia, mutta pääasiassa päällystäminen tapahtuu joko siirtämällä ohut kalvo telan pintaan, jonka jälkeen tela kulkee nipin läpi ja kalvo tarttuu paperiin. Tästä päällystysmenetelmästä käytetään nimitystä pintaliimaus. Yleisimpiä pintaliimoja ovat PVA ja CMC. Pintaliimaukselle ominaista on pieni neli-massan kasvu ja palstautumislajuuden lisääntyminen. Toinen yleisesti käytetty menetelmä on päällystäminen päällystyspastalla, jossa pasta siirretään päällystysaseman telan pintaan esimerkiksi telan alla olevasta lammikosta ja ylimääräinen pasta pyyhitään pois terällä, jonka kulmaa ja kuormitusta säätämällä määräytyy kerroksen paksuus. Tämä

menetelmä on useimmiten käytössä LWC-paperia tehtäessä ja sillä saavutetaan mm. paperin parantunut opasiteetti ja painettavuus. [Paperitekniikka, Knowpap]

Jokilaaksossa LWC – linjojen päällystysaseman vastatelat telat ovat kumipintaisia ja noin 50 P&J kovia. Tämä on hyvin kriittinen tela pinnanlaadun ja muodon suhteen, koska päällystyspastan annostelu terän avulla tapahtuu tätä telaa vasten. Kumipintaisten telojen hiontaväli on joitain kuukausia. Tela hiotaan pääasiassa sen muodon kulumisen vuoksi, jossa suurimman ongelman muodostavat telan reuna-alueet. Telan reuna-alueet kulumat aaltomaiseksi ja tämä saa aikaiseksi tärinää päällystysaseman terillä.

Jokilaakson erikoispaperikoneilla käytetään päällystysaseman lisäksi pintaliimausasmaa, jossa on kaksi polyuretaanipintaista telaa nipissä. Näillä teloilla ongelmat ovat samankaltaisia kuin kumipintaisten päällystysaseman teloilla. Yleinen syy päällystysaseman telojen vaihtoon ovat myös erilaiset pintahaavaumat ja nipin läpi kulkeneiden vieraiden esineiden aikaansaamat vauriot. Jossain tapauksissa telahionnan jäljiltä voi jäädä pieniä pintanaarmuja telaan, jotka huomataan pahimmillaan vasta paperintekoprosessissa.

2.6 Kalanteri

Paperikoneen kalanterin päätehtäviä ovat paperin sileyden ja kiillon parantaminen, paperin paksuuden ja tiheyden säätäminen. Kalanteroinnissa paperi ajetaan yhden tai useamman telanipin läpi. Kalanterointinippi voi muodostua joko kahdesta kovasta telasta, kahdesta pehmeästä telasta tai kovasta ja pehmeästä telasta. Nippipaineella, nippipituudella ja lämmöllä säädetään kalanterointitapahtuma halutun laiseksi. Kalanteri voi olla joko konekalanterina esimerkiksi ennen päällystys asemaa tai sitten omana erillisenä yksikkönään varsinaisen paperikoneen jälkeen. Näistä käytetään myös termejä on-line ja off-line – kalanteri. [Paperitekniikka]

Kalanterilla käytetään kovina teloina terästeloja, jotka ovat yleensä joko karkaisu- ja pinnoittamattomia tai kovapinnoitettuja teloja, joissa voi olla esimerkiksi kromi- tai volframikarbidipinnoite. Pehmeät telat ovat yleensä polymeeripintaisia teloja tai kuituteloja.

Kalanterin teloja hiotaan joko niiden pintavaurioiden tai muotoon liittyvien ongelmien takia. Pintavaurioita voivat olla esimerkiksi pintojen karheneminen tai naarmuuntuminen. Muotovaurioista yleisimpiä ovat päätyalueiden epätasainen kuluminen sekä ympyrämäisyyteen liittyvät geometriavirheet. Teloihin tulee myös jonkin verran vaurioita esimerkiksi ratakatkoista tai silloin, kun nipistä menee läpi jotain sinne kulumatonta. Nippiteloina kalanterin telat ovat hyvin tarkkoja muodon suhteen.

Kalanterin telojen huollot ovat pääasiassa huoltohiontoja. Kovien termotelojen hiontavälit vaihtelevat paperilaadun ja telaposition mukaan noin kahdesta viikosta puoleen vuoteen. Polymeeriteloja hiotaan hieman useammin kuin kovia termoteloja ja kuitutelojen hiontaväli voi olla jopa joitain päiviä. Joillain erikoispapereilla kalanterilla esiintyy myös likaantumista, joka näkyy lopputuotteessa ja tarpeeksi pahan likaantumisen kohdalla tela voidaan joutua vaihtamaan.

Myös kalanteroinnissa paperilaatu vaikuttaa telojen kulumiseen siten, että enemmän täyteaineita sisältävät paperilaadut kuluttavat teloja nopeammin. Esimerkiksi SC-paperia tehtäessä useilla Jokilaakson tehtaiden superkalantereilla kromitelojen vai-pat kuluvat keskeltä ja telojen päädyt jäävät rainan ulkopuolelta koholle, joka taas voi aiheuttaa vastatelan päätyalueen pinnoitteeseen vaurioita. [Tehdaspalvelu]

2.7 Rullain

Paperin rullauksessa on tarkoitus saada paperi jatkokäsittelyä varten sopivaan rullamaiseen muotoon. Paperia voidaan rullata useaan kertaan auki ja kiinni, ennen kuin se on valmis lopputuote. Rullaimella on tärkeää saavuttaa hyvällä rainan kireyden hallinnalla juuri sopiva kireysprofiili, ettei rullaan tule rynkkyjä tai muita rullausvirheitä joiden takia rulla jouduttaisiin hylkäämään.

Suurin osa rullaimista on poperullaimia, jossa rullaussylinterin päälle asetetaan tampuuritela, jonka ympärille paperirulla kietoutuu. Nippivoiman hallinnassa käytetään hyväksi tampuurin omaa massaa siten, että rullauksen alussa tampuuri on toisiohaarukoiden varassa lähes koko massallaan rullaussylinterin päällä. Rullan koon kasvaessa tampuurin nipin kulmaa suhteessa rullaussylinteriin muutetaan rullauksen loppuvaihetta kohti lähes vaakatasoon, jolloin rullan pintaan kohdistuu koko ajan halutun suuruinen voima. Uudemmissa rullaimissa on tarkka hallinta sekä rullaussylinterin, että tampuurin käytön momentille ja tämä mahdollistaa tarkempien rullien kireyden tarkemman hallinnan. [Paperiteknikka]

Rullausnipissä ilman hallinta on tärkeässä roolissa. Ilma pyrkii kerääntymään nippiin ja aiheuttaa luistoa paperirullan ja rullaussylinterin välissä. Tätä luistoa Pyritään ehkäisemään tekemällä urituksia rullaussylinteriin ja pinnoittamalla niitä suuren kitkakertoimen omaavalla pinnoitteella. Rullaussylintereinä käytetään mm. valurautasylintereitä, volframi karbidipinnoitteita ja kumi ja polyuretaanipinnoitteita.

Rullaussylinteri ei ole vakituisesti huollettava kohde ja sille ei yleensä ole ole-massa varaosaa. Rullaussylinterin huollot keskittyvät lähinnä pinnoitteiden karhennuk-siin, urituksiin ja joskus muotohiontoihin. Rullaussylinteri voi olla myös haastava mitat-tava perinteisellä telahiomakoneen mittalaitteistolla urituksen vuoksi. [Tehdaspalvelu]

2.8 Pituusleikkuri

Pituusleikkurilla muutoin valmiista konerullista leikataan sopivan levyisiä asiakasrullia tai sopivan kokoisia rullia esimerkiksi arkittamoa varten. Pituusleikkurilla valmis kone-rulla rullataan auki leikkurin läpi ja leikkaustapahtuman jälkeen rullat pyöritetään uu-destaan kiinni. Kiinnirullaus tapahtuu joko yhden tai kahden kantotelan päälle, jossa ajettavuuden kannalta on samoja ominaisuuksia kuin rullaimella. Ilman ohjaus rullaus-nipissä ja luiston välttäminen ovat oleellisia kantoteloille.

Kantotela ei myöskään ole yleisesti vaihdettava huoltokohde, vaan se huolletaan perinteisesti paikanpäällä tai pidemmässä seisokissa. Suurilla pituusleikkureilla kantotelan irrottaminen huoltoa varten voi olla työläs operaatio. [Tehdaspalvelu]

2.9 Yhteenveto paperikoneen osista

Paperikoneella paperin valmistus alkaa viiraosalta, jossa se saatetaan siihen kuiva-ainepitoisuuteen, että se kestää märkäpuristamisen puristinosalla. Puristinosalla paperi puristetaan hieman kuivemmaksi, noin 50 % kuiva-ainepitoisuuteen, jotta se voidaan siirtää kuivatusosalle. Yksinkertaisimmillaan paperi voidaan viedä tämän jälkeen rullaimelle ja rullata asiakasrullaksi. Tämän lisäksi paperikoneella on joko paperikoneella kiinteänä tai paperikoneen jälkeen jälkikäsittelylaitteita, joilla paperia voidaan esimerkiksi päällystää tai silittää.

Huollettavia teloja on jokaisella tässä kappaleessa mainituista paperikoneen osista. Vaativimmat huoltokohteet ovat jälkikäsittelylaitteiden nippiteloja, jotka löytyvät pääosin kalanterilta tai päällys- ja pintaliimausasemilta.

3 TELOJEN HIONTA TEHTAAN KUNNOSSAPITO-OSASTOLLA

Paperikoneen telojen pintojen hionta tapahtuu normaalissa kunnossapidossa suurimmas-
sa osassa tapauksia telahiomakoneella. Telahiomakone on suurille pyörähdyskappaleille
tarkoitettu hiomakone, jonka työstötarkkuus mitataan mikrometreissä. Telahiomakoneen
päätoiminto on poistaa telojen pinnoista abrasiivista työstöä hyväksi käyttäen materiaa-
lia siten, että tela saavuttaa paperinvalmistusprosessin vaatiman muototarkkuuden sekä
pinnan laadun.

Telahiomakone on suuri laite, jonka vaatima tila voi isolla hiomakoneella olla
jopa 5x20 metriä ja koneen massa voi olla yli 100000kg. Telahiomakone on perinteises-
ti tuettu paksun betonikerroksen päälle, joka on eristetty erilaisin värinän vaimentimien
avulla muusta tehdasrakennuksesta. [Räisänen]

Telahiomakoneet muodostuvat seuraavista pääkomponenteista, joita ovat:

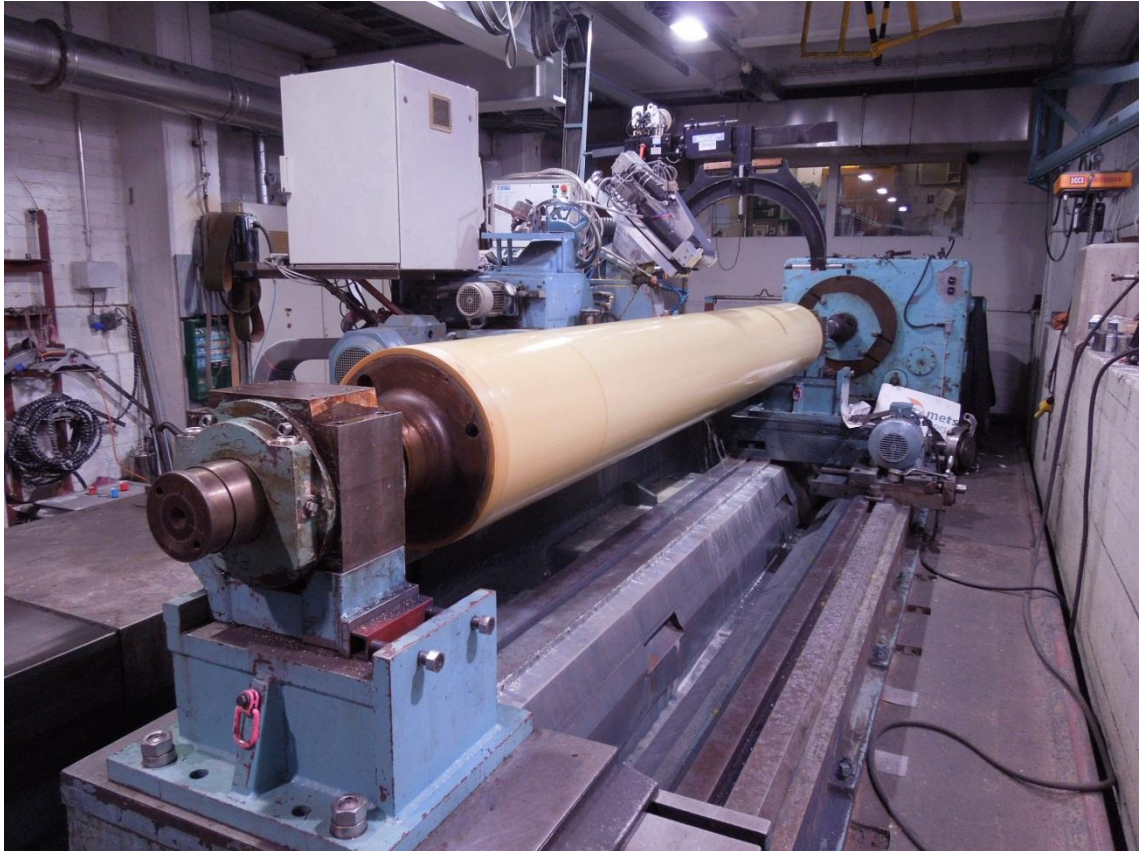
- johteet telapukkeja varten, joihin telat kiinnitetään
- karalaatikko ja telan käyttö
- telan suuntaiset johteet hiomakoneen kelkalla
- telan säteissuuntaiset johteet hiomakoneen kelkalle
- hiomakoneen kelkka hiomalaikan käytöllä

Tämän lisäksi telahiomakoneella erilaisia hiontaa tukevia järjestelmiä ovat:

- hiomanesteen kierto ja puhdistus
- automaatio ja hiomakoneen ohjaus
- mahdollinen pölynpoistomuri
- mittausjärjestelmä telojen mitatukseen

Telahiomakoneella hiottaessa telaa pyöritetään yleensä noin 5-20 kierrosta minuut-
tissa ja hionta tapahtuu joko kivi tai nauhahiontana työkappaleen kehänopeuden ollessa
tyypillisesti noin 5-30 m/s. Hionnan yhteydessä voidaan käyttää tarpeen mukaan vettä
lämmönsiirtoon pois työkappaleesta ja hiomakivestä tai nauhasta. Näissä tapauksissa
puhutaan joko kuiva- tai märkähionnasta. Vanhoissa telahiomakoneissa telahiomako-
neen tarkkuus koostui sen osien summasta, mutta nykyään erilaisten kompensointioh-
jelmien ja mittaustekniikan avulla yksittäisten osien virheitä, kuten esimerkiksi johde-
virheet, voidaan korjata. Yhtenä lähestymistapana runkovälissä tapahtuvien hiontojen
arvioimiseen käytetään tietoja telahiomakoneen toiminnasta ja kartoitetaan, mitä virhei-
tä saadaan runkovälissä aikaiseksi, jos esimerkiksi suoria hiomajohteita ei ole käytössä.
Näihin ongelmiin on myös tarkoitus pohtia mahdollisia ratkaisumalleja. Kuvassa 3.1 on

Waldrich Siegen – merkinen telahiomakone, jossa on kalanterin polymeeritela hiottavana. [Widmaier]



Kuva 3.1. Waldrich Siegen telahiomakone.

3.1 Hiontamenetelmiä

Telojen koneistusta ja hiontaa voidaan suorittaa usealla eri työstötekniikalla, joista pääosin telapintojen hionnassa käytettyjä työstötapoja käydään läpi tässä kappaleessa. Telapintoja voidaan hioa telahiomakoneella seuraavilla menetelmillä, joita ovat:

- kivihionta
- nauhahionta
- viimeistelyhionta

Tämän lisäksi telojen koneistukseen käytetään erikoistapauksissa muitakin menetelmiä, joita käytetään esimerkiksi telapintojen poiston tai urituksen yhteydessä. Näitä menetelmiä ovat:

- sorvaus
 - Kiinteällä terällä
 - pyörivällä terällä
- jyrsintä

Telojen koneistuksen menetelmän valinta on riippuvainen useasta eri muuttujasta, eikä yhtä oikeaa menetelmää ole olemassa. Järkevän menetelmän valintaan vaikuttavat koneistettavan kappaleen osalta mm. pinnoitetyyppi, aineenpoisto ja halutut toleranssit. Myös konekanta saattaa asettaa rajoitteita hiontamenetelmän valitsemiselle. Esimerkiksi kivihionnan avulla hiontamenetelmänä päästään hyvin mittatarkkoihin kappaleisiin, mutta toisaalta kivihionta on myös vaativin hiontamuoto hiomakoneen välyksiä ja jäykkyyttä ajatellen. [Räisänen]

3.1.1 Kivihionta

Kivihiontaa tai nauhahiontaa käytettäessä kontaktipyörä tai hiomakivi asennetaan erilliseen napa kappaleeseen, joka kiinnitetään kartiosovitteella hiomakoneen kelkan käyttöliikkeen kara-akseliin. Hiomakoneen kara-akseli on laakeroitu tarkkoilla säädettävillä liukulaakereilla välyksen ollessa noin 0,010 – 0,015mm. Tämän akselin onnistunut laakerointi ja virheetön pyörintä ovat oleellista hiomakoneen moitteettoman toiminnan kannalta. Epätasapainossa tai muuten virheellinen käyttöakseli jättää helposti jokaisella laikan kierroksella jäljen hiottavaan työkappaleeseen.

Hiomakiveä käytettäessä teroitetaan hiomakivi ennen varsinaisen hionnan aloittamista oikeaan muotoonsa hiomakiven teroituslaitteella. Hionnan aikana hiomakivi kuluu ja siitä vapautuu kulumisen myötä koko ajan uusia hiovia partikkeleita. Hiomakivestä ja hiottavan telan pinnasta riippuen kiveä käydään aina välillä teroittamassa uudesta, sillä se tukkeutuu välillä ja hiovat partikkelit jäävät likakerroksen alle. Hiontamenetelmänä kivihionta asettaa korkeat vaatimukset käytettävälle hiomakoneelle, sillä esimerkiksi tärinästä aiheutuvat virheet kopioituvat välittömästi telan pintaan, koska kivi ei jouta käytännössä ollenkaan. Toisaalta hiomakivi on sen joustamattomuutensa ansiosta oiva väline tarkkaan muotohiontaan etenkin koviin pinnoitteille, koska se seuraa tarkasti telan mittauksen jälkeen annettua muodon kompensointikäyrää eikä jouta kuten esimerkiksi nauhahionnassa käytetyt pehmeät kontaktipyörät. [Räisänen]

3.1.2 Nauhahionta

Nauhahionnassa käytetään hiomakiven tilalle laitettavaa kontaktipyörää ja nauha kiristetään erillisellä taittopyörällä. Vastaavasti kuin hiomakiven tapauksessa, halutessa erilaisen karkeuden omaava nauha, vaihdetaan hiomanauha toiseen. Kontaktipyörässä on yleensä jäykkä teräs tai alumiinirunko, jonka päällä on erillinen kumipinnoite. Vaihtamalla kontaktipyörä kovuudeltaan erilaisen pinnoitteen omaavaan kontaktipyörään, voidaan saada eripituinen hiontanippi. Yleisesti tarkkaan muotoon pyrittäessä käytetään kovempia kontaktipyöriä, joilla saadaan aikaiseksi lyhyempi hiontanippi, pienempi jousto ja voimakkaampi lastuaminen. Pintaa hiottaessa taas haetaan usein vastakohtaisia ominaisuuksia, jotka saavutetaan pehmeällä kontaktipyörällä. Kontaktipyörän valinta riippuu myös hyvin paljon hiottavasta pinnasta. Esimerkiksi kuvassa 3.2 hiottava kro-

mipintainen tela on herkkä värähtelyn aiheuttamille virheille kivellä hiottaessa, jolloin hionta suoritetaan nauhahiontana sopivan kovuisella kontaktipyörällä.

Osa kontaktipyöristä voi olla uritettuja. Urituksella haetaan parempaa jäähdytystä kontaktipyörälle sekä värähtelyjen vaimennusominaisuuksia. Telahiomakoneen näkökulmasta nauhahionta ei poikkea mitenkään telahionnasta, sillä nauhalla hiotaan samoja ohjelmia käyttäen kuin kivellä.

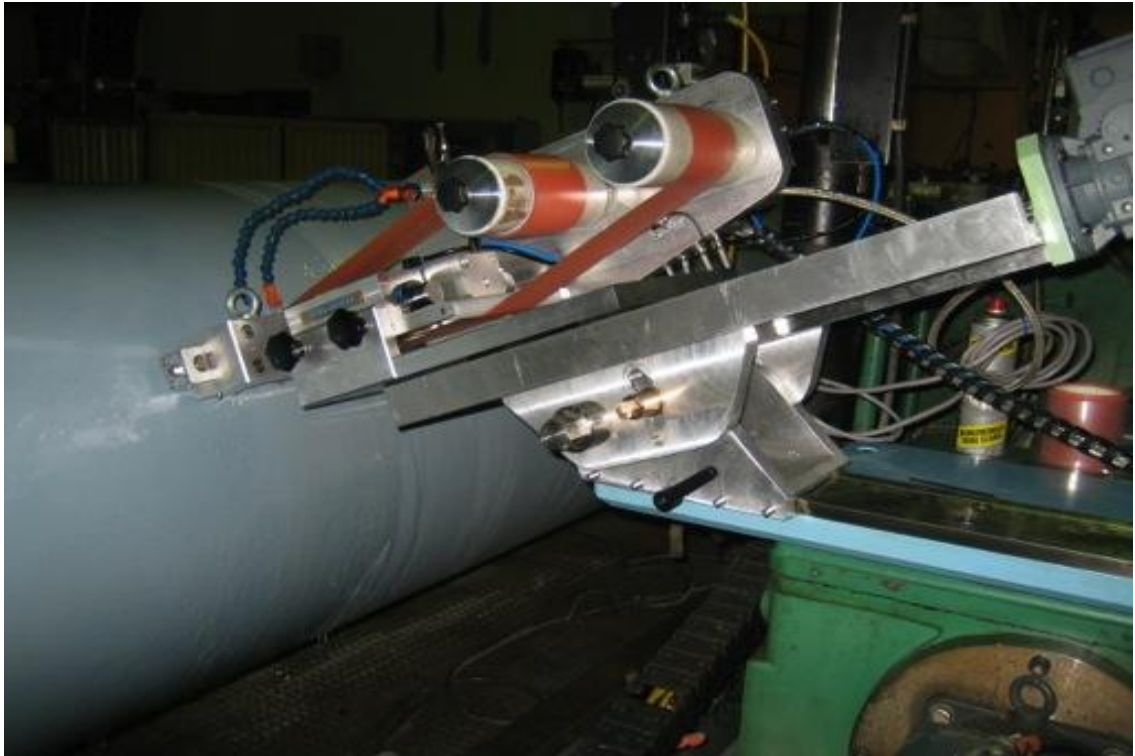


Kuva 3.2. Nauhahiontaa telahiomakoneella kromipintaiselle telalle. Kuvassa näkyvän kontaktipyörän tilalle voidaan asentaa hiomakivi kivihiontaan siirryttäessä.

Nauhahionnalla voidaan hioma myös vapaanauhalla, jossa hiontapainetta ei saada aikaiseksi kontaktipyörän avulla, vaan nauhan vapaata suoraa osuutta painetaan hiottavaa kappaletta vasten. Vapaanauhahionnalla voidaan saavuttaa etuja pinnankarheuden viimeistelyssä ja hienomman raekoon omaavilla nauhoilla vapaanauhahionnalla päästään eroon kontaktipyörän lämpölaajenemisesta johtuvasta hallitsemattomasta hiontatehon kasvusta. Tätä esiintyy etenkin silloin kun pyritään hiomaan suuren kitkakertoimen omaavista pinnoitteista hyvin pieniä määriä ainetta pois.

3.1.3 Viimeistelyhionta

Teloja hiotaan myös viimeistelyhiomalla, josta käytetään myös termiä finisointi. Viimeistelyhiontalaitteessa päättyvää hiomanauhaa liikutetaan hitaasti kontaktitelan yli ja hiomanauhan oikea kehänopeus suhteessa telaan saadaan telan pyöryksestä. Kontaktipyörää ja nauhaa painetaan vakio voimalla telan pintaa vasten yleensä paineilmasylinterillä kuormitettuna. Viimeistelyhionnan tarkoituksena on saada telaan oikea pinnankarheus sekä poistaa mahdolliset hiomakiven tai nauhan nousujäljet. Kuvassa 3.3 voidaan nähdä pinnankarheuden paraneminen viimeistelyhionnan jäljiltä pinnan peilaavuudessa.



Kuva 3.3. Viimeistelyhiontaa timanttinauhalla.

Viimeistelyhionnassa telan muodon muutokset ovat hyvin vähäisiä ja tämän vuoksi tela hiotaan muotoonsa ennen viimeistelyhiontaa nauha tai kivihionnalla. Hionnan aikana telan kehänopeus ja nauhan syöttönopeus sekä kontaktitela kuormittava voima pyritään pitämään aina yhden ylityksen verran vakiona, jolloin telan ylityksessä tehty materiaalia poistava työ pysyy vakiona koko hiottavalta matkalta.

3.2 Hiomanauhat

Hiomanauhat voidaan jakaa kahteen eri ryhmään hiomanauhaa käyttävän koneen mukaan. Nauhoja käytetään viimeistelyhiontalaitteella ja nauhahiomakoneella, jossa jälkimmäisessä työhön vaadittava hiontateho tulee hiomanauhan pyöryksestä. Nopeasti pyörivällä nauhahiomakoneella hiomanauha on yhtenä päättymättömänä lenkinä, kun taas viimeistelyhiomakoneella hiomanauha on kuvan 3.2 mukainen päättävä nauha, joka kelataan rullalta toiselle. Päättävää nauhaa kutsutaan myös hiomarullaksi.

Hiomanauhalle tärkeitä ominaisuuksia telahionnassa käytettävästä riippumatta ovat:

- tasainen aineen poisto koko telan matkalla
 - hallinnassa oleva kuluminen
 - nauhan tukkeutumisen hallinta
- nauhan reunan ja liitossauman merkkeämättömyys
- nauhan riittävä mekaaninen kesto käytetyllä hiontamenetelmällä
 - lämpötilan kesto
 - hiomanesteen kesto
 - mekaaninen lujuus
 - venymä nauhahiomakoneella
- tasainen pinnankarheusjakauma ilman syviä haavoja
 - Rz- ja Ry-arvon välinen erotus pieni

Hiomanauhojen karheus voidaan ilmoittaa usealla eri asteikolla, joista käytetyimpiä ovat P-asteikko sekä μ -asteikko. Karheus määritellään yleisesti suodattamalla hiontatarvikkeen jyvät tietyn kokoisen sihdin läpi. P-asteikolla suurempi luku tarkoittaa pienempää raekokoa ja μ -asteikolla suurempi luku tarkoittaa myös suurempaa raekokoa. Mitä suurempaa raekokoa käytetään, sitä suurempi on nauhalla saavutettu aineen poisto ja pinnankarheus. [Fepa]

Hiomanauhojen jyviä valmistetaan useasta eri materiaalista ja optimaalinen käytettävä nauhajyvä riippuu aina hiottavan pinnan materiaalista ja kovuudesta. Oikean nauhatyyppin valinta on tärkeää hionnan kannalta niin kustannusten kuin hionnan onnistumisen kannalta. Esimerkiksi timanttia sisältävät hiomanauhat voivat maksaa noin kymmenen kertaa enemmän metriltä kuin vaikka alumiinioksidipohjaiset nauhat. Tällöin on tärkeää selvittää, kykeneekö halvempi nauha kyseiseen pintaan ja millaisen hiomajäljen se jättää.

3.3 Hionnan virhelähteitä ja mittaustavat

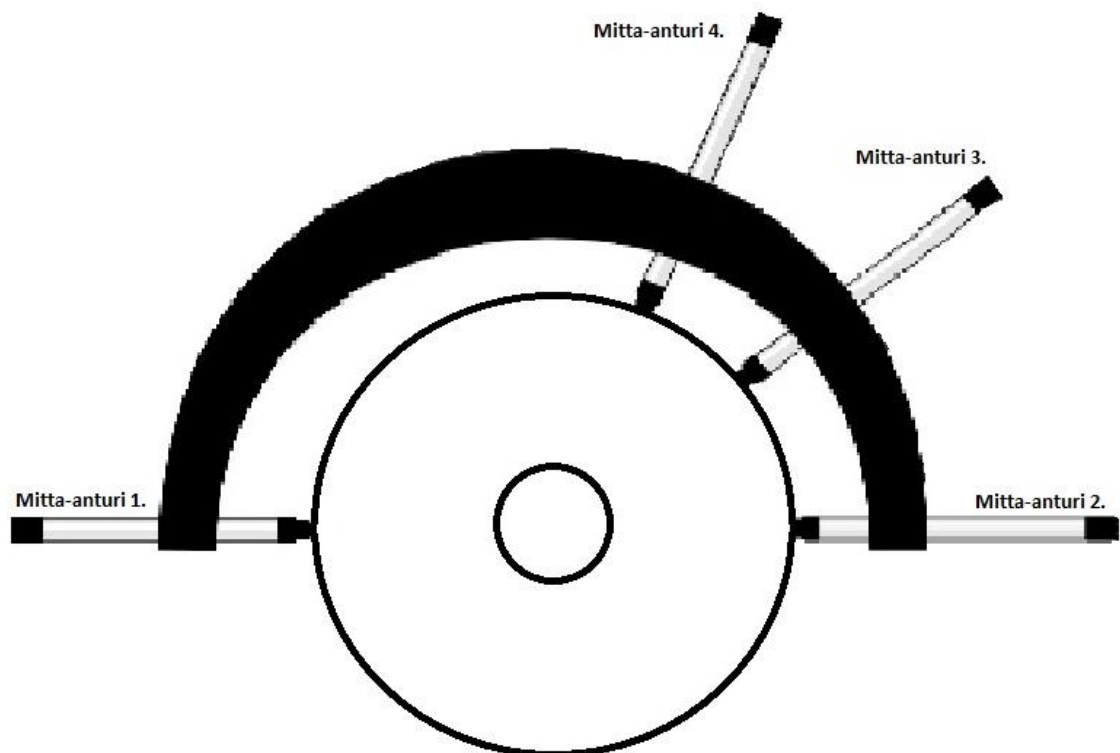
Optimaalisessa hionnassa tai koneistuksessa yksikään hiomakoneen osa ei deformoidu tai muutu prosessin aikana. Näin ei kuitenkaan ole ja tästä syystä hionnasta aiheutuu teloihin erilaisia geometrisia virheitä. Widmaierin mukaan ainakin seuraavia virheitä kyetään mittaamaan modernin telahiomon mittalaitteilla:

- säteisheitto
- ympyrämaisyysprofiili ja ympyrämaisyys
- aksiaalinen halkaisijavaihtelu
- sylinterimäisyys
- kartiomaisuus
- suoruus
- pyörähdysakselin virhe

- telan vaipan paksuus
- pinnankarheus
- epätasapaino

Näistä yleisimpiä mitattuja suureita ovat ympyrämuotoisuus, aksiaalinen halkaisijavaihtelu, säteisheitto ja pinnan karheus. Tämän lisäksi telalle suoritetaan vielä silmämääräinen tarkistus, että se näyttää optisesti hyvältä. Esimerkiksi hyvin pieni hiomakiven nousujälki, joka voi olla joitain mikrometrin osia, ei välttämättä näy mittalaitteen resoluution vuoksi. Tällöinen aaltomuotoisuus etenkin lyhyellä välillä voi kuitenkin näkyä lopputuotteessa. Telahiomakoneella kullekin näistä arvoista on annettu oma toleranssialueensa, johon telahioja pyrkii pääsemään. Toleransseista saa hyvän kuvan liitteinä 1 – 6 olevista mittaraporteista. Yleisesti ottaen nippiteloilla toleranssit ilmoitetaan mikrometreissä ja sitä epätarkemmilla teloilla millin sadasosina.

Telahiomakoneella geometrinen toleranssin todentamiseen käytetään tavallisesti kuvan 3.4 tapaista mittakaarta, jossa on yhdestä neljään mitta-anturia. Jokaisessa anturipaikassa ei tarvitse välttämättä käyttää anturia, vaan ainoastaan pintaa seuraava rulla on monissa tapauksissa riittävä. Anturit voivat olla koskettavia ja pintaa seuraavia tai koskettamattomia, esimerkiksi laser antureita. Ympyrämuotoisuutta tai säteisheitoa mitattaessa mittakaari pysyy tyypillisesti paikallaan telan pyöriessä, kun taas aksiaalisuunnan liikettä vaativissa mittauksissa mittakaari liikkuu telahiomakoneen kelkan mukana telan akselin suuntaisesti. [Kunnostuksen vaikutus]



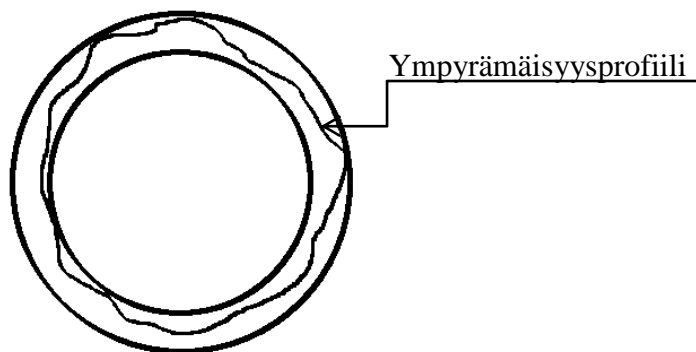
Kuva 3.4. Mittakaari neljän pisteen mittauksella.

Edellä mainittujen virheiden mittaamiseen vaaditaan erilaista mittalaitteistoa, jolta vaaditut ominaisuudet riippuvat halutusta tarkkuudesta. Jokaista mitattavaa suuretta varten ei ole olemassa omaa laitetta, vaan osa niistä hoituu samalla mittalaitteella. Mittalaitteiston ymmärtämiseksi käydään ensin mitattavat mittasuureet ja niihin johtavimmat yleisimmät virheet läpi, jonka jälkeen tehdään yhteenveto erilaisista mittatavoista ja niiden mahdollisuuksista.

Alla olevien mittaustapojen käsittelyssä staattisella tilanteella ei tarkoiteta täysin pysähtynyttä kappaletta, vaan pienintä järkevää nopeutta, jolla esimerkiksi ympyrämäisyyttä voidaan mitata. Esimerkiksi ympyrämäisyyttä mitattaessa käytännössä kaikilla telahiomakoneilla mitta-anturit ovat paikoillaan ja tela liikkuu niihin nähden. Tilannetta voidaan kuitenkin pitää staattisena, jos sitä verrataan telan pyörimisnopeuteen prosessissa.

3.3.1 Säteisheitto, ympyrämäisyys ja pyörähdysakselin virhe

Ympyrämäisyys on standardin ISO 1101 mukaan kahden sekä keskenään ja työkappaleen kanssa samankeskeisten ympyröiden säteiden erotus, joiden sisään mitattu ympyrämäisyysprofiili mahtuu. Ympyrämäisyyden määritelmä on havainnollistettu kuvassa 3.5.

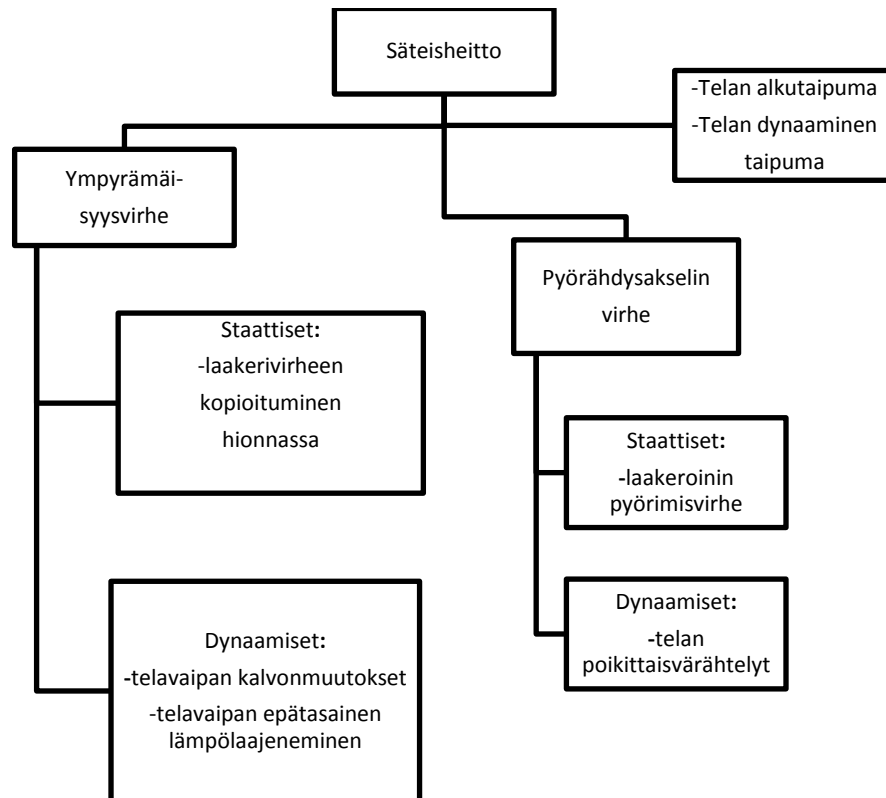


Kuva 3.5. Ympyrämäisyyden määritelmä.

Ympyrämäisen profiili kertoo säteen suuntaiset poikkeamat pyörähdyskappaleen keskipisteestä. Ideaalinen ympyrämäisyysprofiili on yhteneväinen molempien ympyröiden kanssa ja tällöin ympyrämäisyys on nolla. [ISO1101]

Säteisheitolta tarkoitetaan telan yhdeltä segmentiltä mitattua säteen suuntaista virhettä. Säteisvirhe on muiden virheiden summa, joita ovat staattisessa tilassa pyörimisakselin virhe, ympyrämäisyysvirhe sekä ja telan alkukäyryys. Pyörimisakselin virheellä tarkoitetaan telan keskilinjan liikettä kierroksen aikana sen oletetun pyörimiskeskien suhteen. Pyörimisakselin virhe johtuu käytännössä aina laakerien ja laakerikaulojen ympyrämäisyysvirheistä.

Näiden virheiden lisäksi käynnin aikana ympyrämäisyyteen ja säteisheittoon tulee myös dynaamisia virheitä ja virheet ovat osittain toisistaan riippuvaisia, jota on havainnollistettu kuvassa 3.6 yhdessä staattisten virheiden kanssa.



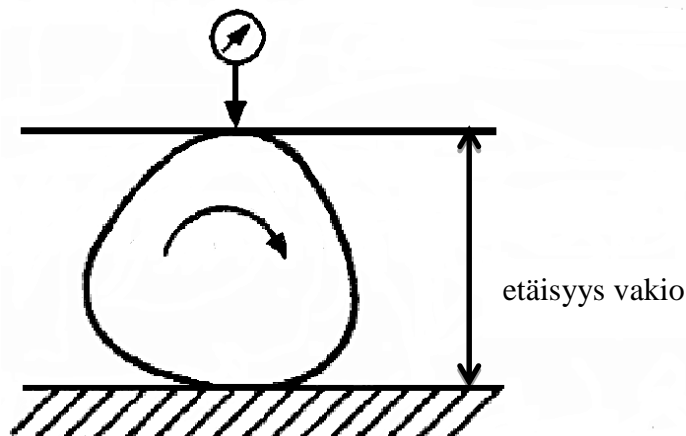
Kuva 3.6. Säteisheiton koostuminen ympyrämaisyysvirheestä, pyörähdysakselin virheestä ja säteisheitosta. [Kunnostuksen vaikutus, Widmaier]

Mittaamisen kannalta säteisheitto on yksinkertaisin mitattava, sillä se mitataan ainoastaan yksipistemittauksena telan säteispoikkeamana. Säteisheiton mittaukseen riittää yksinkertaisimmillaan jäykkään alustaan kiinnitetty heittokello, josta säteisheitto voidaan lukea.

Ympyrämaisyysmittaamiseen tarvitaan yleisesti vähintään kolme mittapistettä, sillä kuvan 3.7 havainnollistamassa tapauksessa kaksipistemittauksena tehtävä mittaus ei kerro todellista ympyrämaisyysvirhettä, koska tässä tapauksessa ei tiedetä erikseen yhtäaikaista pyörimisakselin liikettä, sillä kaksipistemittauksella voi tunnistaa ainoastaan parilliset ympyrämaisyysvirheet.

Tämän vuoksi modernit 3d-hionnalla varustetut telahiomakoneet on varustettu jopa neljällä mitta-anturilla mahdollisimman tarkan ympyrämaisyysvirheen saavuttamiseksi. Näistä vastakkaisten antureiden tehtävänä on tunnistaa parilliset amplitudit ja kolmas sekä neljäs anturi ovat parittomia aallonpituuksia varten. Mittaus voidaan suorittaa myös kolmella anturilla, jolloin anturit voidaan sijoittaa samalle ympyrän neljännekselle siten, että ensimmäinen anturi on vaakatasossa ja sitä seuraavat tyypillisesti noin 38° ja 67° kumissa vaakatasoon nähden. Kolmella anturilla varustettua mittakaarta voitaisiin käyttää runkovälimittauksissa esimerkiksi ajon aikaisiin ympyrämaisyysmittauksiin jopa nippi kiinni ajettaessa, jolloin telan ympäri ei välttämättä saa asennettua 180° telan kehältä tarvitsevaa mittakaarta.

Neljällä mitta-anturilla mitattaessa on edelleen olemassa ongelma tarkan pyörimisakselin keskiön määrittelyä. Fourierin menetelmää apuna käyttäen voidaan poikki-leikkauksen ympyrämäisyys ilmaista amplitudin ja vaiheen avulla sarjana, jossa toinen termi vastaa ovaaliutta, kolmas kolmiomaisuutta jne. Tästä saadaan mallinnettua kappaleen ympyrämäisyys. [Juhanko 2011]



Kuva 3.7. Ympyrämyisyyden mittaamisessa tehtävä virhe kahdella mitta-anturilla.

Telan pyörähdysakselin virhe saadaan määriteltä vasta kun tiedetään ympyrämyisyys ja säteisheitto. Pyörimisakselin virhe voidaan laskea säteisheiton ja ympyrämyisyyden erotuksena staattisessa tilassa. Paperikone olosuhteissa dynaamiset muuttujat tulevat tähän lisäksi ja pyörähdysakselin virheen arviointi käyntinopeudessa on käytännössä mahdotonta. Teoriassa ilman pyörimisakselin virhettä ja säteisheittoa ympyrämyisyyden mittaaminen onnistuisi pelkällä heittokellolla. Telojen valmistuksessa edellä mainittuja virheitä ei kuitenkaan saada kokonaan poistetuksi ja siksi tämä ajatusmalli on lähinnä teoreettinen.

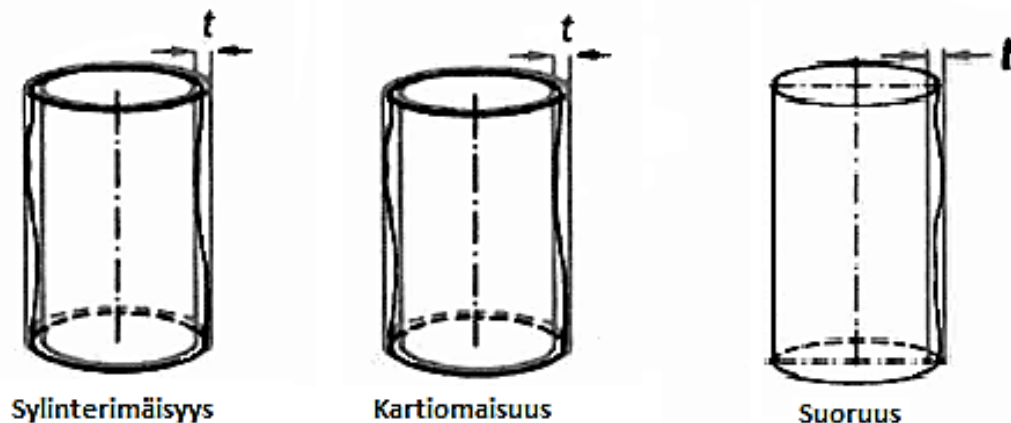
3.3.2 Aksiaalinen halkaisijavaihtelu ja siihen liittyvät käsitteet

Paperikoneen telan halkaisijaa mitattaessa absoluuttinen halkaisija ei yleensä ole kiinnostava tieto muuten kuin telan käytön tahdistamisen kannalta, jolloin noin $\pm 0,1\text{mm}$ tarkkuutta voidaan pitää täysin riittävänä. Tästä syystä teloista mitataan tyypillisesti enemmän telan muodosta kertovaa suuretta eli telan halkaisijaprofiilia.

Halkaisijaprofiili mitataan yleensä kahden pisteen mittauksena joko kahdella vastakkaisella mitta-anturilla, tai mitta-anturilla ja seuraavalla rullalla. Kuvan 3.2 tapauksessa nämä kyseiset anturit olisivat mitta-anturit 1 ja 2. Mittauksen aikana tela on normaalisti pysähdyksissä ja mittaus suoritetaan yleensä aina samasta kohdista telan vaippaa. Kuvan 3.8 sylinterimäisyyden mukaan aksiaalinen halkaisijavaihtelu voidaan käsittää leikkauksena sylinterimäisyydestä yhdessä tasossa. Halkaisija ero ilmoitetaan

normaalisti mini ja maksimihalkaisijan mukaan, sekä erotus edelliseen akselin suuntaiseen mittapisteeseen.

Telan kartiomaisuudesta puhuttaessa, tarkoitetaan tavallisesti juuri halkaisijavaihtelusta tulevaa kartiomaisuutta yhdessä tasossa. Pyörähdyskappaleelle ominaisesta työstötavasta johtuen telojen todellinen kartiomaisuus on hyvin lähellä halkaisijavaihtelua kahdesta pisteestä mitattuna. Tavallisesti kartiomaisuutta pidetään telassa virheenä, jonka ihannearvo on nolla.



Kuva 3.8. Sylinterimäisyyden, kartiomaisuuden ja suoruuden määritelmät pyörähdyskappaleelle ISO 1101 mukaan.

Kuvassa 3.7 määritelty sylinterimäisyys voidaan mieltää ympyrämäisyyksien summana x-akselin funktiona, jossa sylinterimäisyyden toleranssialue mahtuu kahden saman keskeisen lieriön sisään. Kartiomaisuus on mittaustasossa kahden suoran viivan väliin mahtuva toleranssialue, joka on yhden suuntainen keskilinjän kanssa. Suoruustoleranssilla tarkoitetaan kahden viivan väliin mahtuvaa yhden pisteen mittauksella saatavaa toleranssikäyrää. [Pyynikki, ISO 1101]

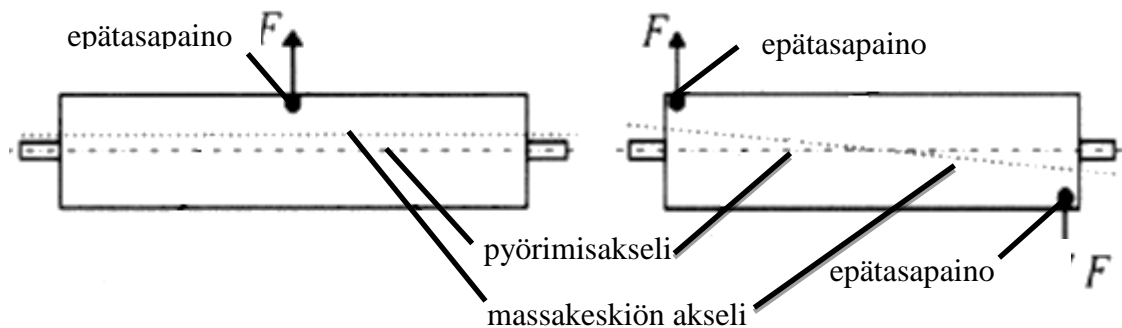
3.3.3 Telan vaipan paksuus, epätasapaino ja pinnankarheus

Telan vaipan paksuuden tai telan tasapainon mittaaminen eivät kuulu normaaleihin toimenpiteisiin telahuoltojen yhteydessä paperitehtaalla ja niiden mittaaminen ja tutkiminen jää tarvittaessa yleensä telavalmistajan tehtäväksi.

Telan vaipan paksuusvaihtelu voi olla kriittinen tekijä esimerkiksi kuivatussylintereillä, jotka luokitellaan paineastioiksi. Telan vaipan paksuusvaihtelu vaikuttaa myös telan vaipan dynaamisten kalvonmuutosten tasaisuuteen. Esimerkiksi telan ulkovaipan ja sisäkehän koneistuksessa syntyvä epäkeskeisyys ja hitsausseamat johtavat erilaisiin telan vaipan jäyhyksiin, jolloin tela voi hiomakoneessa hionnan jälkeen olla suora, mutta konenopeudessa deformaatiot saattavat ylittää sallitut toleranssit moninkertaisesti. Telan vaipan mittauksiin voidaan käyttää mm. ultraääneen perustuvaa mittauksia, jossa

ultraäänianturilla mitataan väliaineen avulla telan kuoren paksuutta. Käyttämällä esimerkiksi tasaisesti ruiskutettua vesipatsasta väliaineena, voidaan paksuus mitata pyörivästä telasta lineaariliikkeen avulla ja tehdä paksuusvaihtelukartta koko telasta kerta mittauksella. [Juhanko 2011]

Edellä mainitut telan mittapoikkeamat, kuten telan vaipan paksuuden vaihtelu, aiheuttavat teloihin epätasapainoa. Tasapaino voidaan jakaa kuvassa 3.9 esitetyllä tavalla kahteen eri tasapainon tyyppiin, staattiseen ja dynaamiseen epätasapainoon. Kuten kuvasta voidaan havaita, on staattisen tasapainon tilassa telan massakeskiön läpi piirretty akseli yhdensuuntainen pyörimisakselin kanssa, kun taas dynaamisesti epätasapainossa oleva tela voi olla staattisesti tasapainossa, mutta dynaamisesti epätasapainossa. Kuvan 3.9 oikeanpuoleinen tela on tasapainossa staattisesti, mutta epätasapainossa dynaamisesti. Tästä syystä telat tasapainotetaan dynaamisesti niiden oikealle ajonopeusalueelle.



Kuva 3.9. Staattisen ja dynaamisen tasapainon määritelmät [Juhanko 2011].

Jäykäksi oletettujen pyörähdyskappaleiden tasapainotus voidaan suorittaa joko yhdessä tai kahdessa tasossa. Yhtä tasoa voidaan käyttää levymäisille kappaleille pitkillä laakerointiväleillä, kun taas jäykän telan tapauksessa käytettäviä tasojätkä ovat usein telan päädyt. Päätyjen lisäksi kahdeksi pisteeksi voidaan valita myös esimerkiksi Besselin pisteet, jolloin telan sisäinen taivutusmomentti saadaan minimoitua.

Sallittu epätasapaino ilmaistaan kaavalla,

(1)

jossa U_{per} sallittu jäännösepätasapaino (g·mm), e_{per} sallittu epätasapaino massaa kohden (g·mm/kg) ja m on pyörähdyskappaleen massa (kg). Paperikoneen teloille on määritetty tasapainotusluokat, jossa tasapainotusluokka saadaan kaavan

(2)

mukaan, jossa ω on tasapainotus nopeus (rad/s). Vaaditun arvon G ollessa vakio, nousee vaatimus suurimmasta sallitusta epätasapainosta massaa kohden pyörimisnopeuden funktiona. Koska paperikoneen etenkin pitkät ja pienen halkaisijan omaavat telat voi-

daan pääosin luokitella joustaviksi pyörähdyskappaleiksi, ei kahden tason tasapainotuksella ole juurikaan vaikutusta telan dynaamiseen taipumaan. Joustavan pyörähdyskappaleen määritelmän mukaan kappale on joustava, jos sen epätasapaino muuttuu pyörimisnopeuden funktiona. Tilanne on suurimmalla osalla teloista juurikin tämä, sillä epätasapaino kasvattaa säteisheittoa nopeuden funktiona, joka taas lisää epätasapainon määrää. Dynaamisen taipuman hallitsemiseksi teloja joudutaan tasapainottamaan useammassa tasossa. Tasapainotustasojen määrä määräytyy tasapainotettavien ominaismuotojen määrästä siten, että tarvittavien tasapainotustasojen määrä on $N+2$, jossa N tarkoittaa tasapainotettujen ominaismuotojen määrää. Tyypillinen tasapainotustasojen määrä on esimerkiksi johtotelojen tapauksessa 3, jossa kolmannella tasolla pyritään eroon dynaamisesta keskitaipumasta.

Telojen tasapainotusmenetelmiä on olemassa useita erilaisia. Suurimmassa osassa tasapainotuskoneita telaa pyöritetään noin 0,3 kertaisella nopeudella telan kriittiseen nopeuteen nähden ja telan keskitaipumaa mitataan. Vertaamalla telan staattista ja dynaamista käyttäytymistä toisiinsa voidaan laskea deformaatioihin vaaditut voimat ja määrittää niitä vastaavat painot. Yleensä telan vaipan sisälle keskelle telaa lisätään massaa tavalla tai toisella, kuitenkin siten, että se ei aiheita telan käyntinopeudessa piste-mäistä muotovirhettä telan kuoreen. [Juhanko 2011]

Telojen pinnasta mitataan usein telan pinnankarheus. Pinnankarheus vaikuttaa jäljentyksellä paperiin, telan puhtaana pysymiseen ja mahdollisesti muiden koneen osien, kuten esimerkiksi viirojen kulumiseen. Pinnan karheus mitataan tyypillisesti koskettavan mittakärjen omaavalla mittalaitteella. Eri kohteista riippuen teloista mitataan aina-kin seuraavia arvoja, joita ovat:

- pinnankarheuden R_a -arvo
- pinnankarheuden R_z -arvo
- pinnankarheuden R_y -arvo

Pinnankarheusmittarit ovat yleensä pienikokoisia ja pinnankarheuden mittaaminen onnistuu hyvin myös runkovälissä. Toisin kuin geometrisissa toleransseissa, pinnan karheudessa ei yleensä pyritä lähelle nollaa, vaan valmistajan asettamasta pinnankarheudesta, kokemuksista prosessista ja ajettavasta paperilaadusta riippuen määritellään kullekin telapinnalle omaan positioonsa sopiva pinnan.

4 TUTKIMUSMENETELMÄT

Aiheena runkovälissä tapahtuva telojen kunnostus on hyvin laaja ja tämän vuoksi tutkimuksessa on tarkoitus tehdä esimerkin omainen kartoitus runkovälikoneistuksen mahdollisuuksista yhdelle paperitehtaalle. Tutkimuksessa tehtävän kartoituksen suoritus pyritään tekemään siten, että se on mahdollista laajentaa myös muille tehtailla, jotka saattavat tehdä täysin eri paperilaatuja samojen kunnossapidon ongelmien toistuessa.

Työn pääpaino on runkovälikoneistuksien eri menetelmien teoreettisessa tarkastelussa ja niiden soveltamisessa tehtaan omassa kunnossapidossa.

4.1 Kunnossapidon raportit jokilaakson tehtailta

Paperitehtaan toimintajärjestelmään kerätään usein tietoa eri laitepaikkojen huoltoon liittyvistä tiedoista. Tässä työssä käytetään UPM:n Jokilaakson tehtailta löytyviä telahuollon tilastoja ja erilaisia raportteja mahdollisten runkovälikohteiden arviointiin. Raporttien pohjalta on tarkoitus löytää yleispäteviä menetelmiä ja lähestymismalleja runkoväli kunnossapitoon paperikoneesta ja paperilaadusta riippumatta.

Paperitehtailla ja koneilla tapahtuu muutoksia jatkuvasti. Vanhoja raportteja tutkittaessa ja sovellettaessa erilaisiin huoltokohteisiin tarkasteltiin myös, ovatko kyseisen laitepaikan olosuhteen muuttuneet oleellisesti sen jakson jälkeen, miltä tietoa on kerätty.

Kunnossapidon raportteja sovellettaessa saadaan laitepaikkakohtaisesti tietoa esimerkiksi siitä, millä toteutuneilla toleransseilla kyseinen tela on oikeasti toiminut omassa laitepaikassaan. Laitepaikkaan kohdistettujen erilaisten töiden, ostojen ja muiden kustannusten perusteella arvioidaan myös mahdollisten runkovälikunnostusten taloudellista kannattavuutta.

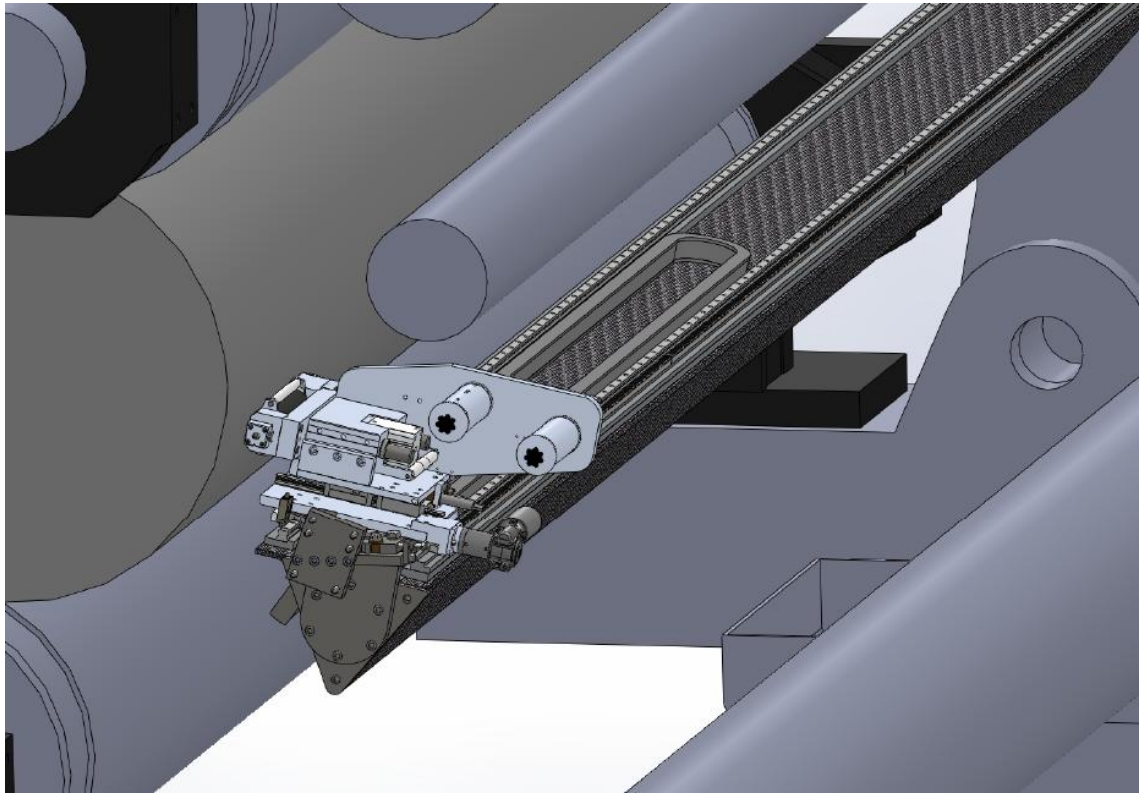
4.2 Lähdekirjallisuus

Telahionnasta ja telojen käyttäytymisestä prosessissa on tehty useita tieteellisiä julkaisuja. Näistä julkaisuista on tarkoitus etsiä pohjatietoja telojen käyttäytymiselle prosessissa sekä tehdä johtopäätöksiä siitä, millaisia ominaisuuksia teloilta vaaditaan eri positioihin. Telojen käyttäytymisen ymmärtäminen eri positioissa on oleellinen osa työtä, jotta mahdollinen oikeanlainen runkovälityömenetelmä ja toleranssit sekä mittaustapa voidaan löytää.

4.3 Kokeelliset menetelmät

Paperitehtaan kunnossapidosta löytyy usein laitteita, joilla voidaan tehdä kokeita tietyn työstö- tai mittausmenetelmän soveltamisesta paperikoneen runkovälissä. Näitä kokeita

on tarkoitus suorittaa pääasiassa telahiomakoneella sekä UPM Jämsänkoskelle hankitulla runkoväliin tarkoitettulla kuvan 4.1 mukaisella kiinteästi asennetulla viimeistelyhiontalaitteistolla.



Kuva 4.1. 3d sijoituskuva viimeistelyhiontalaitteesta termotelan takana. [Wintech]

Telahiomakoneen etuna ovat dokumentointia ajatellen hyvin tarkat mittalaitteet ja tuotannon kannalta ei niin kiireinen työympäristö testitoimintaa varten. Kun kokeista telahiomakoneella on saatu riittävän hyviä tuloksia, on menetelmiä tarkoitus myös kokeilla runkovälilaitteistolla tarjolla olevien resurssien puitteissa. Kokeellisten menetelmien on tarkoitus tuoda esiin mahdollisia jatkokehityksen tarpeita sekä samalla tuoda esiin uusia työtapojen mukana tuomia haasteita.

4.4 Haastattelut

Työssä ohessa haastatellaan paperikoneen kunnossapitoon liittyen ihmisiä eri aloilta. Tarkoituksena on kerätä tuotannolta laadullisesti vaikuttavia tekijöitä ja syitä telojen vaihtoon. Tuotannon haastatteluissa on myös tarkoitus kartoittaa mahdollisia tuotannon rajoittavia tekijöitä kunnossapitotöille. Mekaanisen kunnossapidon haastatteluilla on tarkoitus selvittää telahuollon nykytilanne, toimintatavat ja töihin käytettävissä olevat resurssit.

Kartoitettaessa jo olemassa olevia runkovälimenetelmiä, löytyy niitä erilaisia kirjallisuuslähteitä selaamalla lukuisia. Kun tarkoitus on kuitenkin keskittyä yleisimpiin tehtäviin töihin sekä niihin töihin, joita toimittajilla on jo valmiiksi tarjolla, on alalla

toimivien yritysten työntekijöiden haastattelu avainasemassa tietoa hankittaessa. Samalla saadaan tietoa erilaisista käytetyistä työvälineistä ja mittausvälineistä.

5 RUNKOVÄLIKONEISTUS- JA MITTAUSMENETELMIÄ

Erilaisten runkovälimenetelmien kartoittamiseksi haastateltiin eri suomalaisia alan yrityksiä ja toimijoita. Tähän kappaleeseen on koottu positiokohtaisesti erilaisia runkovälissä tapahtuvia kunnostustöitä sekä työmenetelmiä. Mukana on myös palvelun toimittajien näkemyksiä työn vaikutuksesta paperikoneen ajettavuuteen ja mitä kyseisellä työllä pääasiassa pyritään saavuttamaan.

Tarkoituksena ei ole käsitellä kaikkia mahdollisia töitä, mitä on joskus paperikoneella tehty, vaan luoda yleiskuva siitä, millaisia töitä paperikoneympäristössä tehdään. Tältä pohjalta voidaan pohtia erityylisten töiden ja työmenetelmien yhdistelemisen ja jatkokehityksen tuomia mahdollisuuksia. Jotkut töistä toistuvat useammalla eri paperikoneen osalla ja siksi niitä on käsitelty myös oman otsikon alapuolella.

5.1 Viira- ja puristinosalla tehtävät työt

Viiraosalla runkovälityönä kunnostettava osa ovat perälaatikon huulilistat, jotka vaikuttavat paperin poikkisuuntaiseen formaatioon. Huulilistojen vauriomekanismeja on useita, mutta tärkeimpinä voidaan mainita:

- viiran vaurioitumisesta aiheutuvat kolhut ja taipumat
- kuluminen massan vaikutuksesta urille tai prosessin kannalta epäedulliseen muotoon
- vauriot esimerkiksi pesun tai muun huollon yhteydessä

Ennen hiontaa huulilistan suuremmat vauriot joudutaan ensin oikaisemaan, jonka jälkeen pienemmät naarmut ja muut vauriot voidaan oikaista hiontalaitteella.

Perälaatikon huulilistoja korjataan hiomalla ja oikaisemalla, joihin molempiin on kehitetty omat erikoistyökalunsa. Joissain tapauksissa pelkkä oikaiseminen voi riittää, mutta se on yleensä pelkkä auttava toimenpide ennen seuraavaa pidempää seisokkia, jolloin huulilista voidaan vaihtaa. Huulilistan oikaisu ja hiontatöitä voidaan pitää haastavina töinä, jossa suorustoleranssi on noin millin kymmenyksen luokkaa riippuen ajettavasta paperilaadusta ja sen laatuvaatimuksista. [Metso]

Perälaatikon puhtaana pysyminen on hyvin oleellista sen sisäisten virtausten hallussa pysymiseksi ja optimaalisen kone- ja poikkisuuntaisen formaation saavuttamiseksi. Perälaatikon sisäpintojen pinnankarheuksiin tai muutoin korkean kitkan omaaviin kohtiin tarttuu prosessista erilaisia partikkeleita, jotka voivat kokoluokasta riippuen häiritä perälaatikon virtauksia. Tätä ongelmaa voidaan vähentää pinnoittamalla perälaati-

kon sisäpintoja. Pinnoitusta voi edeltää hionta ja esimerkiksi happopesu, jotta mahdollistetaan mahdollisimman hyvä tartunta ja lopputulos. Pinnoitus tapahtuu yleensä sivelemällä.

Puristin ja viiraosalla on molemmissa kanttauspalat ja näiden vastinpinnat huo- van liittämistä varten. Näiden vastinpinnat kulu- vat ja niille tehdään oikaisuhionta. Ku- lunut vastinpinta aiheuttaa kieroutta viiran tai puristinosan liitokseen. Toinen koneistet- tava kohde puristinosalla on kuormituselementtien nivelten aarporaus ja holkittaminen. Nivelet voivat iän myötä väljistyä tai jumittua, joka voi olla mm. nippivärähtelyn läh- teenä puristinosalla. [Metso, Voith]

Puristin ja viiraosan teloista huoltohiontoja tehdään runkovälissä lähinnä puris- tinosan keraamiselle keskitelalle, joka on yleensä vaikea irrottaa koneesta. Keskitelan huoltohionnassa pyritään pääosin palauttamaan se tuotannon kannalta optimaaliseen pinnankarheuteen, joka on tyypillisesti tarkoittaa silenneen pinnan karhentamista mah- dollisimman pienellä materiaalin poistolla. Karhennukseen voidaan käyttää joko vii- meistelyhiontalaitetta tai kaavarin terän tilalle asennettavaa karhennuslistaa. Keskitelan pinnan sileneminen vaikeuttaa paperin irtoamista telan pinnasta, joka taas aiheuttaa epä- tasaista vetoa paperirainaan. [Metso]

5.2 Kunnostustyöt kuivatusosalla

Kuivatusosa on rungoltaan ja rakenteeltaan hyvin umpinainen, eikä telojen ja kuivatus- sylintereiden vaihto kuulu paperikoneen normaaliin huolto-ohjelmaan. Lisäksi kuiva- tusosaa ympäröi kuivatusosan huuva, joka toimii lämmön- ja kosteuden eristeenä. Huu- va vaikeuttaa myös jonkin verran huoltotöitä, koska sen sisälle ei pääse paperikoneen omalla nosturilla.

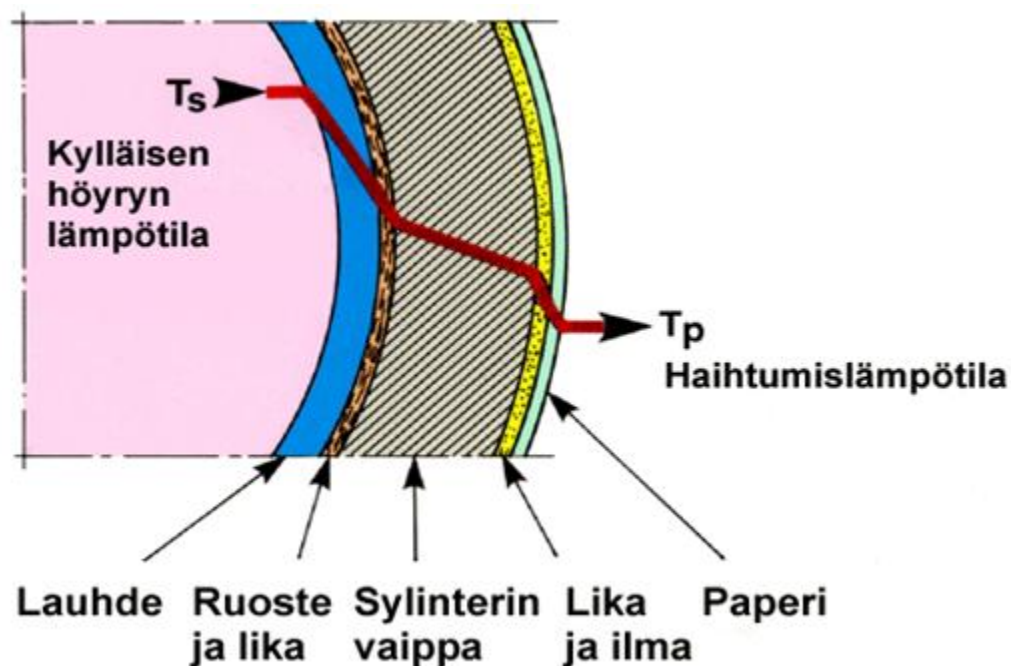
Suurin osa kuivatusosalla tehtävistä runkovälitöistä liittyy kuivatussylintereihin. Kuivatussylinterin vaihtaminen voi viedä useita päiviä aikaa, eikä niitä yleensä pidetä varaosina. Kuivatussylinterin tärkein tehtävä on lämpöenergian siirtyminen rainaan, jota parannetaan ainakin seuraavilla paperikoneella tehtävillä koneistustöillä:

- puhdistushionta (liian ja ruosteen poisto)
- puhtaana pysymisen ja kaavaroinin parantaminen
 - muotohionnalla
 - pinnoittamalla
- urittaminen
- poraaminen ja muunnos kylmäksi imutelaksi (yhdessä urittamisen kanssa)
- sisäpuolen lauhteen hallinta listoittamalla

Puhdistushionnan yhteydessä kuivatussylinterin pinnasta hiotaan lika- ja ruostekerros pois, jossa likakerroksen paksuus voi paksimmillaan olla millin luokkaa. Ruosteen pois- tossa riittää usein noin millin kymmenyksen hionta sylinterin säteeltä. Muotohionnan yhteydessä sylinterin muotoa korjataan hiomalla tarvittava määrä materiaalia pois sylin-

terin halkaisijalta. Muotohiontaa tehtäessä on tärkeää kiinnittää huomiota saman käyttöryhmän sisällä olevien sylintereiden halkaisijaeroihin, jotta ne eivät kasva liian suuriksi. Halkaisijaltaan liian pieniä sylintereitä voidaan myös joutua kasvattamaan ennen hiontaa pinnoittamalla. Täyttöpinnoitusta tehtäessä tulee huomioda, että pinnoitteesta riippuen pinnoitteelle on olemassa minimi ja maksimipaksuudet kiinnipysymisen varmistamiseksi. [Voith]

Tämän lisäksi kuivatussylintereitä pinnoitetaan kaavaroitavuuden ja puhtaana pysymisen helpottamiseksi erilaisilla tartunnan estämiseen tarkoitetuilla pinnoitteilla. Pinnoitteet voivat koostua joko yhdestä ruiskutettavasta kovasta erilaisia metalliseoksia sisältävästä pinnasta, tai sitten kovasta pohjakerroksesta ja teflonpohjaisesta pintakerroksesta paperin ja sylinterin välisen adheesion pienentämiseksi. Kuivatusosalla herkimpiä paikkoja likaantumisen riskille ovat tyypillisesti kuivatusosan alkupään sylinterit sekä päällystysaseman jälkeiset sylinterit. Likaantumisongelmat ovat myös hyvin vahvasti riippuvaisia paperiin käytetyn massan laadusta. Kuvassa 5.1 on havainnollistettu lämmön siirtymistä paperirainaan sylinterikuivatuksessa. [Lincer, Knowpap]



Kuva 5.1. Lämmön siirtyminen höyrystä paperiin. [Knowpap]

Kuten kuvasta 5.1 havaitaan, heikentävät sylinterin pinnalla oleva lika ja ruoste lämmönjohtumista sylinterin pinnalta paperiin ja kuivatusosan kuivatusteho pienenee. Myös kuvassa näkyvä lauhde haittaa lämmön siirtoa paperiin ja lauhdekerroksen kertymistä eristeenä sylinterin vaipalle pyritään estämään listoittamalla sylinteri sisältä. Listoitusta joutuu välillä uusimaan vaurioitumisen vuoksi, jolloin sylinteriin mennään sisälle erillisen miesluukun kautta vaihtotyötä varten. Sylinterin tasaisella lämmönsiirtoprofiililla on myös tärkeä vaikutus paperikoneen ajettavuuteen, sillä se vaikuttaa suoraan paperin kosteusprofiiliin. Näiden lämmönsiirtoon liittyvien töiden lisäksi kuivatusosalla tehdään muitakin runkovälitöitä, joita ovat:

- akseleiden ja laakeripesien sorvaukset ja holkitaminen
- sylintereiden ja johtotelojen tasapainotus
- miesluukun tiivistepinnan korjauskoneistukset
- sylinterin päänvientiköysien urien korjaukset

Kuivatusosan kunnostustöiksi voidaan luokitella myös jenkkisylinterillä tehtävät työt. Jenkkisylinteri on suuren halkaisijan omaava kuivatussylinteri, jonka koneistustarkkuus on yleensä huomattavasti suurempi kuin kuivatussylinterillä. Jenkkisylinterit voivat olla suoria tai bombeerattuja. Jenkkisylintereille tehdään vastaavia huoltotöitä kuin kuivatussylintereille, mutta etenkin hiontojen osalta hiontalaitteistolta vaaditaan suurta tarkkuutta.

Jenkkisylinterin kehällä on yleensä huuva ja mahdollisesti erityyppisiä kuivaimia ja lämpöelementtejä, jolloin ilman suurempia purkutöitä ei päästä suorittamaan hiontaa sen keskilinjasta. Tällöin johteita referenssisuorana käytettäessä johteet tulee linjata erittäin tarkasti suoraan sekä korkeus että vaakasuunnassa. Vaihtoehtoinen tapa on käyttää kevyempää referenssisuoraa suorien johteiden sijaan. Kevyempänä referenssisuorana voi toimia esimerkiksi kireälle kiristetty teräslanka tai valo, jonka avulla saadaan tehtyä mutkilla olevilta johteilta suora lineaariliike. [Vaahto, PK-Tekniikka]

5.3 Pituusleikkuri ja rullain

Pituusleikkurilla ja rullaimella on molemmilla sama toiminto, jossa paperirulla pyörii sylinterin päällä ja rullaa rullataan joko kiinni tai auki. Pituusleikkurin kantoteloilla ja rullaimen rullaussylintereillä paperiradan luisto on ongelma, jota voidaan vähentää kitkapinnoitteella, urituksilla ja porauksilla.

Pinnoitteena käytetään yleisesti volframi karbidi pinnoitetta. Pinnoite jätetään pinnoituksen jälkeen karheaksi ja pinnoite hiotaan kevyesti mahdollisten pinnoituksessa tulleiden piikkien poistamiseksi. Kitkapinnoite pitää uusia tai karhentaa ajoittain mahdollisen silenemisen vuoksi. Ilmanohjausuria on kahdenlaisia, joista toinen on useita kymmeniä millimetrejä leveä loiva nousullinen pyöreäprofiilinen ura ja toiset urat ovat noin millimetrin levyisiä. Kapeampia kiekkoterällä jysyttäviä uria tehdään myös runkovälikoneistuksina, kun taas leveämmän ventauran tekoa varten sylinteri joudutaan irrottamaan ja viemään huoltoon.

Rullaussylinterin muodon on sekä rullaimella että pituusleikkurilla tärkeä olla rullauksen hallinnan kannalta mahdollisimman suora. Kovapintaisille rullaussylintereille tehdään myös tarvittaessa täyttöpinnoitusta ja muotohiontaa ja pehmeäpintaisille sylintereille voidaan suorittaa muotohionta.

5.4 Työt kalantereilla, päällystys- ja pintaliimausasemilla

Kalanterin telat ovat prosessissa kuluvina nippiteloina yleensä tehtaalla vakituisia huoltokohteita ja kalanterin telat yleensä irrotetaan huoltohiontaa varten. Kalanterin teloilta vaaditaan tarkkaa ympyrämuotoisuutta sekä halkaisijavaihtelua sekä hyvää pinnankarheutta.

Kalanterin teloja voidaan korjata runkovälissä viimeistelyhionnan avulla, jossa perusoletuksena telan muoto pidetään samana ja teloista korjataan ainoastaan pinnan karheuden virheitä, kuten karhentunut pinta, likaantuminen ja pienet naarmut.

Päällystysaseman vastatelat ja pintaliimausaseman aplikointitelat ovat poikkeuksetta helppoja vaihtaa, eikä tällä alueella ollut tehtyjä runkovälitöitä yhdenkään haastatellun yrityksen puolesta. Pehmeinä pintoina näistä pinnoista joudutaan usein hiomaan suuria määriä materiaalia pois huoltohionnan yhteydessä, jolloin myös toleranssien toteutuminen ja hiontajätteen syntyminen tulisi ongelmaksi.

5.5 Yleisimmät pinnoitustekniikat

Paperikoneella tehtävien runkovälipinnoitusten syynä on yleensä joko telan pinnan ominaisuuksien muuttaminen halutun laiseksi, tai materiaalin lisääminen korjattavaan kohtaan. Varsinaiset telapinnoitukset tehdään aina telan vaipalle, kun korjaavia pinnoituksia tehdään mm. kuluneille telavaipoille, akselikauloille ja muille kuluneille osille, joihin materiaalin lisääminen on kannattavampaa, kuin koko työkappaleen uudelleen valmistaminen tai koneesta poistaminen.

Pinnoituksia tehdään useilla eri menetelmillä, joista runkovälissä käytetään termisiä pinnoitusmenetelmiä ja kemiallisia pinnoitusmenetelmiä. Termisten menetelmien avulla saadaan aikaiseksi kovia kulutusta kestäviä pinnoitteita. Pinnoite materiaali voidaan tuoda ruiskulle joko lankana tai jauheena, jossa sula partikkeli ruiskutetaan pinnoitettavan kappaleen pintaan kovalla nopeudella, jolloin partikkeli litistyy tyypillisesti lamelleiksi ja jähmettyvät nopeasti. [Turunen, Unique Coat]

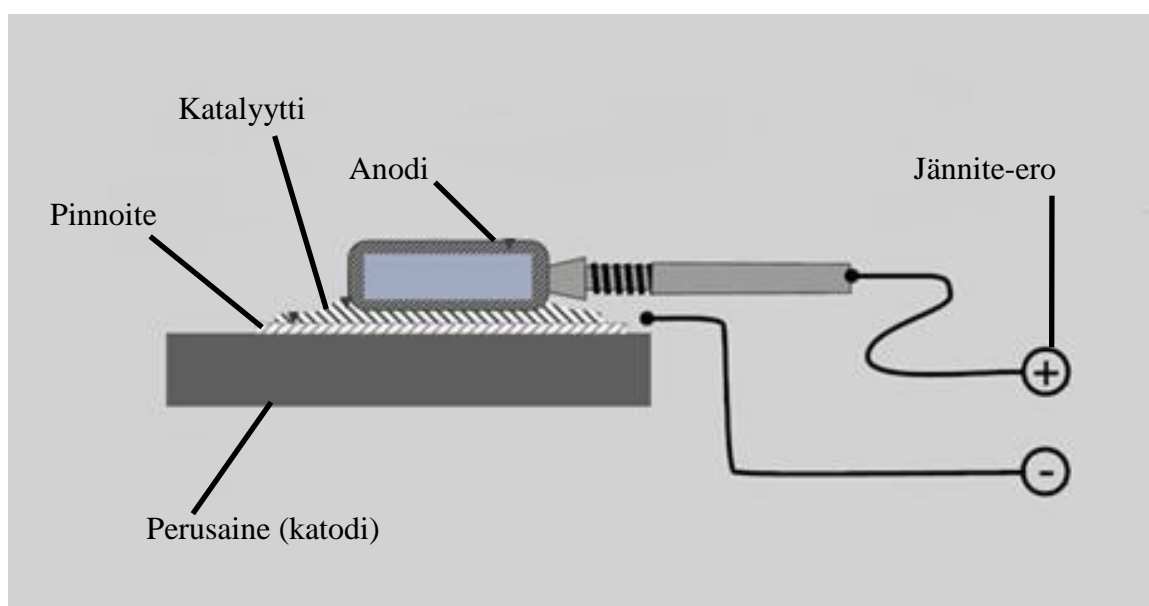
Yleisimpien termisten menetelmien etuja ja sovellusalueita on luetteloitu seuraavassa taulukossa:

- HVOF (High Velocity Oxy Fuel)
 - koville partikkeleille
 - hyvä adheesio
 - alhainen huokoisuus (alle 2 %)
 - pulverin ruiskutukseen
 - tyypillinen pinnoitevahvuus alle 0,3mm
- HVOF (High Velocity Air Fuel)
 - pulverin ruiskutukseen
 - mahdollistaa pienemmän partikkelikoon kuin HVOF
 - tyypillinen pinnoitevahvuus alle 0,3mm

- hyvä adheesio
- alhainen huokoisuus (alle 2 %)
- ARC (Electric ARC Wire Spray)
 - täyttöpinnoitukset
 - kustannustehokas
 - hyvä saanto
 - tyypillinen pinnoitevahvuus millejä, kuitenkin alle 10mm
 - huokoisuus 10–15%
- APS (Air Plasma Spray)
 - kuumin ruiskutusprosessien lämmönlähde
 - huokoisuus alle 8 %
 - pinnoitevahvuus alle 0,8mm
 - keraamipinnoitteiden ruiskutukseen

Termisissä pinnoitusmenetelmissä on yhteistä korkealla lämmöllä pinnoitemateriaalin sulattaminen, mutta itse pinnoitemateriaalit, polttoaineet ja syöttötapa poikkeavat toisistaan huomattavasti. Termisiä pinnoitustöitä tehtäessä runsas lämmön tuonti kappaleeseen tulee pitää mielessä, joka voi joskus olla rajoittavana tekijänä pinnoiteparametrien valinnassa, esimerkiksi kalanteritelaa pinnoitettaessa vaipan materiaalissa ei saisi päästä syntymään lämpötilasta johtuvia pysyviä muutoksia, kuten esimerkiksi karkenemista. [Turunen, Unique Coat, Lincer]

Termisten pinnoitusten lisäksi paperikoneella tehdään pinnoitustöitä myös kemiallisesti. Kemiallista pinnoitusta käytetään pääasiassa täyttöpinnoituksena erilaisten alamittaan kuluneiden komponenttien korjauksessa. Kemiallisessa pinnoituksessa käytetään hyväksi elektrolyysiä kuvan 5.2 mukaan, jossa positiivisesti varatut ionit kulkevat sähkövirran avulla pinnoitettavan telan pintaan, joka toimii katodina.



Kuva 5.2. Kemiallinen pinnoituksen periaatekuva. [Voith]

Kemiallisen pinnoituksen avulla tehdyt pinnat eivät ole lujuusominaisuuksiltaan yleensä alkuperäisen teräksen tasolla, mutta kestävät hyvin puristusta ja soveltuvat siten hyvin esimerkiksi laakeriholkkien vastinpintojen korjaukseen. [PK-Tekniikka, Voith]

5.6 Lastuavat työt runkovälissä

Lastuavia työstömenetelmiä, kuten esimerkiksi jysintää, sorvausta ja porausta käytetään runkovälitöissä siinä määrin, kun se on järkevää ilman kappaleen irrottamista. Suurimpana haasteena lastuavassa työssä ovat riittävän tukevien laitteiden kiinnittäminen runkoväliin ja tarpeellisen tilan saaminen kyseistä työstömenetelmää varten. Lastuavat työmenetelmät, joita lueteltiin joitakin kuivasyylintereiden yhteydessä, ovat pitkälti yksilöllisiä töitä, jotka vaativat juuri siihen kohteeseen suunnitellut laitteet. Runkovälissä tapahtuvissa töissä Latvastenmäen mukaan onkin tärkeää yhden tason liikkeen hyvä hallinta, joka voi esimerkiksi olla miesluukun oikaisutyössä tason suuntainen liike. Loput liikkeet pyritään pitämään mahdollisimman hyvin lukittuna ja estämään tätä kautta syntyviä virhelähteitä. Jos koneistustyö suunnitellaan siitä näkökulmasta, että se tehdään runkovälissä, on se käytännössä aina mahdollista tehdä. Ainoastaan siihen käytetyt resurssit eivät saa ylittää saavutettua hyötyä. [PK-Tekniikka]

5.7 Telojen mittausmenetelmiä paperikoneella

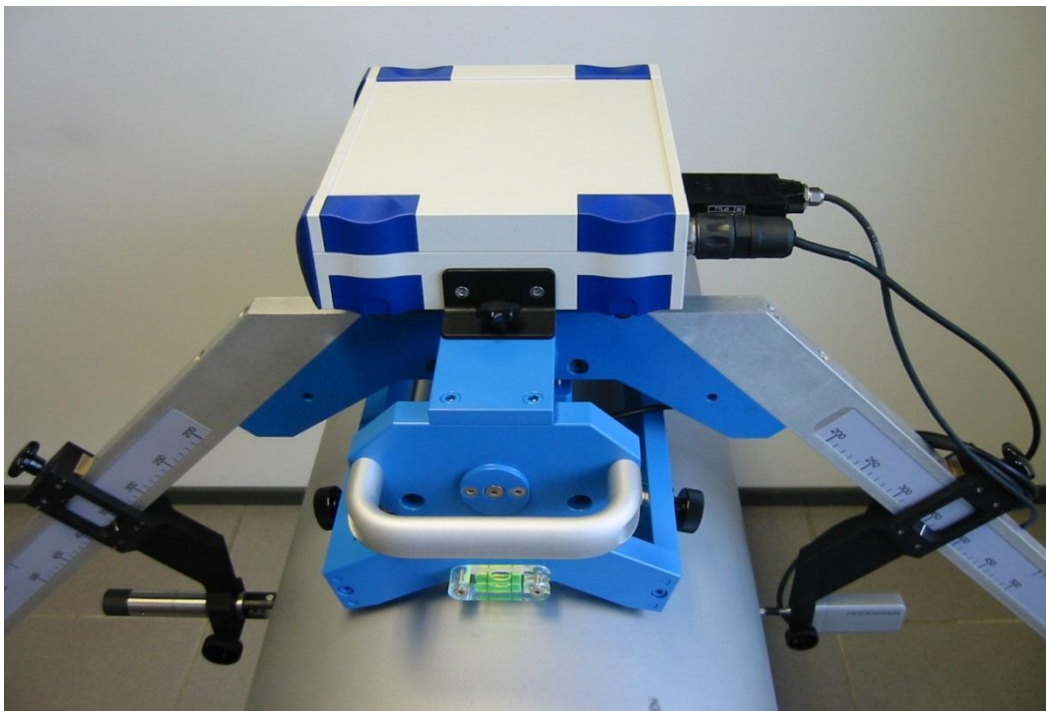
Haastattelujen perusteella paperikoneella suoritettavissa mittauksissa suurimmassa osassa käytetään hyvin perinteisiä mittavälineitä. Näillä välineillä mitattaessa mittatarkkuus on usein pitkälti käyttäjän varassa, sillä lukuisten virhelähteiden ymmärtäminen ja minimointi vaatii pitkää kokemusta mittaamisesta. Seuraavassa listassa on lueteltu yleisimpiä käytettyjä mittavälineitä ja niillä mitattavia suureita:

- heittokello
 - yhden pisteen mittaus
 - säteisheiton mittaus
 - telan suoruuden mittaus (tarkkuus perustuu telan suuntaisen lineaariliikkeen tarkkuuteen)
 - tarkkuus tyypillisesti noin $\pm 0,01\text{mm}$
 - mittakellon hystereesi nopeasta kappaleesta mitattaessa
- mittanauha
 - halkaisijan mittaus
 - ympärysmittan mittaus
 - tarkkuus noin $\pm 0,1\text{mm}$
 - käyttäjävirheet (kiristysvoima, kohtisuoruus akselilinjaan nähden)
 - lämpötilasta johtuvat mittavirheet
- mikrometrit

- halkaisijan mitta
- tarkkuus noin $\pm 0,01\text{mm}$
 - käyttäjävirheet (kiristysvoima, kohtisuoruus akselilinjaan nähden)
 - lämpötilasta johtuvat mittavirheet
- hiotut mittaviivaimet
 - tasomaisuuden tai esimerkiksi telan pinnan lyhyen matkan virheiden havainnointiin vastavalon avulla
 - vain lyhyelle matkalle
 - perustuu käyttäjän arviointiin

Näiden perinteisten mittaustapojen lisäksi teloista voidaan mitata runkovälissä, pinnan karheus, pinnoitteiden vahvuudet ja teloja voidaan linjata yhdensuuntaisiksi erilaisten linjauslaitteiden kanssa. Kaikki yllä esitetyt menetelmät ovat toimivia tiettyyn tarkkuuteen asti, mutta vaativat mittaajalta suurta ammattitaitoa kriittisyyttä mittaustulosten tulkintaan. Näillä menetelmillä vapaasti pyöriviä epätarkempia teloja, kuten esimerkiksi johtoteloja ja kuivasylintereitä voidaan mitata riittävällä tarkkuudella, mutta esimerkiksi nippitelojen, kuten kalanteritelojen mittaamiseen menetelmät eivät ole riittäviä. Nippiteiloilta vaaditaan yleensä vähintään halkaisijaprofiili 2 – pistemittauksena sekä ympyrä-mäisyydet riittävän tiuhaan telan matkalta, tavallisesti molemmista päistä ja keskeltä telaa.

Tarkempien telojen mittaukseen on kehitetty erilaisia mittoja, jotka perustuvat joko perinteiseen mittakaareen, tai niin sanottuun ratsumittaan. Erotuksena näillä kahdella mittatavalla on, että ratsumitta voi käyttää telaa tuentana ja sitä liu'utetaan telaan pitkin, kun taas mittakaarta varten tarvitaan telan yhteyteen lineaariliike. Kuvassa 5.2 näkyy perinteinen ratsumitta kaksipistemittauksella.



Kuva 5.2. *Ratsumitta kahden pisteen mittauksella. [Rolltest]*

Ratsumitan ja perinteisen mittakaaren käyttöä paperikoneen runkovälissä mitattaessa rajoittaa usein tilanpuute, sillä telan vaipasta saadaan harvoin kaksipistemittaukselle vaadittavaa 180° kehää käyttöön. Rajoittavana tekijänä ovat yleensä telojen oheislaitteet, kuten esimerkiksi kaavarit. Nippiteloilla myös nipin aukeama rajoittaa mittaukseen käytettävissä olevaa telan kehää. [Rolltest]

Telojen mittaukseen runkovälissä voitaisiin käyttää myös kolmella anturilla olevaa mittakaarta, jolloin telan muodon mittaamiseen riittäisi noin 60° segmentti. Yhdistelemällä ympyrämäisyyksiä riittävän tiheästi telan aksiaalissuunnassa, voitaisiin tehdä telan muodosta telahiomon 3d-mittausta vastaava kartta. Hyödyntämällä nykyaikaisia korkeataajuuksisia laser mitta-antureita, onnistuisi tällä menetelmällä myös telan dynaamisen muodon mittaus. [Pyynikki]

5.7.1 Referenssisuoraan perustuva mittaus

Paperikoneen telojen hiontaan tarvitaan telojen aksiaalissuuntainen lineaariliike, jonka mukana hiomakone liikkuu. Telahiomossa tämä liike on linjattu kulkemaan suoraan mahdollisimman tarkkaan, koska telan säteen suunnassa tehty virhe näkyy aina kaksinkertaisena telan halkaisijavaihtelussa. Johtuen telahiomakoneen hyvin vankasta perustuksesta, pysyy hiomakone suorassa johteiden linjauksen jälkeen kohtuullisen ajan riippuen siitä, kuinka pahasti hiomakoneen perustukset liikkuvat ajan myötä ja johteet kuluvat. Paperikoneelle asennettavat väliaikaiset ovat yleensä huomattavasti kevyemmät rakenteeltaan asennettavuuden ja tilan puutteen takia. Johteiden suoruuteen referenssisuorana ei aina välttämättä voidakaan luottaa, vaan käytössä on myös muita menetelmiä. [Räisänen, Widmaier]

Kuten Räisänen seuraavassa toteaa, on jo pitkään ollut olemassa kevyitä menetelmiä tehdä referenssisuora hiontaa varten pitkällekin jänneväliille. ”*Johteiden linjauksessa yleisesti käytetty menetelmä on jännittää ohut pianolanka johteiden suuntaisesti siten, että langan etäisyys johteista kummassakin päässä on yhtä suuri. Hiomakelkkaan kiinnitetään okulaariasteikolla varustettu mikroskooppi, joka seuraa pianolankaa. Ajettaessa hiomakelkkaa päästä toiseen voidaan poikittaisvirhe lukea kussakin kohdassa okulaarin asteikolta.*” [Räisänen]

Referenssisuora on erittäin käyttökelpoinen jäykkien kappaleiden tapauksessa, joina voidaan pitää pituuteen nähden suuren jäykkyyden omaavia teloja, kuten kuivatussylintereitä ja jenkkisylintereitä. Tässä tapauksessa telan taipumasta johtuvat virheet jäävät hyvin vähäisiksi ja jäljelle jäävät säteisheiton osalta hallitsevina virheinä ainoastaan kappaleessa 2 mainitut virheet, joita ovat seuraavat virheet, jotka vaikuttavat pääosin telan ympyrämaisyyteen:

- laakerivirheen kopioituminen hionnassa
- telavaipan kalvonmuutokset
- telavaipan epätasainen lämpölaajeneminen

telalla voi toki olla myös alkutaipumaa tai muuta säteisheittoa, mutta riittävän jäykiltä johteilta tarpeeksi kauan hiontaa suoritettaessa tällainen tela pyrkii kuitenkin ympyrämaisiksi sekä referenssisuoraan nähden haluttuun muotoon. Referenssisuorina on käytetty mm. valoa, erilaisia lankoja ja teräsnauhaa.

6 NÄKÖKULMIA TELAHUOLLON RESURSSIEN KOHDISTAMISEEN

Paperitehtaalla telojen kunnossapito voidaan hoitaa usealla eri tavalla. Mahdollisuuksina on ostaa koko palvelu ulkopuoliselta toimittajalta, tehdä osa töistä itse tai jokin näiden yhdistelmä. Tässä kappaleessa on lähestytty paperikoneella tehtävien huoltohiontojen sovittamista tehtaan kunnossapitoon eri näkökulmista.

Paperitehtaalla kunnossapito koskettaa useita eri osastoja ja tässä tapauksessa nähtiin tarpeelliseksi tarkastella paperikoneella tapahtuvaa kunnossapitoa kunnossapito henkilöstön kannalta, tuotannon ja työsuunnittelun näkökulmasta sekä taloudellisen kannattavuuden näkökulmasta.

6.1 Sopivan runkovälihiontamenetelmän valinta

Telahiomakoneella telojen huoltohiontaa tehtäessä, perustuu telojen saavutettava mittatarkkuus telan muodon tarkkoihin mittauksiin sekä hiomakoneen ohjaamiseen näiden mittauksien perusteella. Kuten kappaleessa 5.7 tutkituista mittavälineistä voidaan päätellä, on saman mittauksen ja erilaisten hionta-ohjelmien tekeminen runkoväliin myös mahdollista, mutta verraten kallista ja hiomakoneille olevat valmiit ohjelmat perustuvat pitkälti siihen oletukseen, että hiontatyö päästään tekemään jäykiltä johteilta. [Räisänen, Syrjänen]

Näiden tietojen pohjalta kappaleen 7 testit perustuvat työmenetelmään, jossa oletusarvoisesti materiaalin poistossa tehty työ yhdellä telan aksiaalissuuntaisella työstöliikkeellä pidetään aina vakiona. Tällöin myös materiaalin poistossa tehdyn työn tulisi pysyä vakiona ja telan pysyä siinä muodossa, jossa se oli ennen huoltohiontaa. Vakiona pysyvän materiaalin poiston toteuttavia menetelmiä voidaan pitää kohtalaisen turvallisina käyttää, sillä etenkin pieniä määriä materiaalia poistettaessa telan muodon menettämisen riskiä ei pääse syntymään.

Telahiomakoneella tämä on toteutettu nopeasti pyörivällä kivellä tai nauhalla tarkkailemalla hiomakiven tai kontaktipyörän käytön moottorin virta-arvoa. Pidettäessä hiontavirta vakiona, oletetaan myös hiontaan käytetyn moottoritehon olevan vakio. Tätä oletusta voidaan käyttää silloin, kun hiomakiven tai nauhan kulumisen ei ole kovin voimakasta yhden telan ylityksen aikana, ts. hiomatarvikkeen telaan tekemä työ pysyy vakiona. Vastaavasti viimeistelyhiontalaitteessa hiontaan tarvittava teho otetaan telan käytöltä, joten pidettäessä telan ja hiomakoneen telan suuntaisen lineaariliikkeen nopeuden suhde vakiona sekä nauhan syöttöarvo sekä kontaktipyörän kuormituspaine vakiona, voidaan myös materiaalin poiston olettaa pysyvän täysin vakiona. Viimeistelyhionnassa nauhan kulumista ei voida pitää muuttujana, sillä päättyvää nauhaa käytettäessä nauhan kuluneisuus säilyy koko hionnan ajan vakiona olettaen, että nauhan syöttö-

nopeus pidetään myös vakiona. Kuvassa 6.1 on havainnollistettu erilaisten vakio materiaalin poistoon soveltuvien menetelmien toimintaperiaatteita.



Kuva 6.1. Vakio materiaalinpoistoon soveltuvat menetelmät. [Wintech]

Kuten kuvasta 6.1 voidaan havaita, on vakiona pidettäviä parametreja molemmissa hiontamenetelmissä melko paljon. Käytännön tasolla nämä ovat kuitenkin helppoja hallittavia, sillä parametrit tarkoittava lähinnä sitä, että mitään niistä ei muuteta hionnan aikana. Telan kovuus- ja huokoisuuserot eivät ole varsinaisia hionnan työstöarvoja, mutta vaikuttavat materiaalin poistoon ja tästä syystä ne ovat mainittuna.

Virtahionnassa hiomakoneella oleellisempina parametrina voidaan pitää hiontavirran suuruutta. Muiden mainittujen parametrien vaihtelu voi korkeintaan häiritä hiontaa ja näiden säätämisen tai muuttumisen hallinta on paljon monimutkaisempaa kuin virran seuranta. Hiontavirran suuruutta voidaan säätää esimerkiksi kuormittamalla kontaktipyörää paineilmalla vakiokuormalla, tai vaikka sähkömoottorin ja säätöpiirin avulla, joka ajaa kontaktipyörää telaan päin moottorin virran suuruuden mukaan.

Yllä olevan taulukon perusteella viimeistelyhiontaa voidaan pitää pienempiriskisenä valintana tehtaan kunnossapito-osaston tekemiin töihin, jossa korjataan lähinnä telojen pieniä pintavaurioita. Nauhahiontaa hyvällä ohjauksella ja mittauksella voidaan pitää myös toimivana ratkaisuna, kun laite asennetaan kiinteästi paperikoneelle. Yksittäisinä hiontatöinä tehtynä nauhahiomakoneella saavutettu lopputulos on pitkälti käyttäjän taidoista ja kokemuksista kiinni ja tällöin myös suurempi riskistä hiontatuloksen hallinnan osalta.

6.2 Runkovälikohteiden kartoittaminen tehdastasolla

Kun lähdetään kartoittamaan mahdollisia runkovälissä tehtäviä kunnossapidon kohteita, kohdataan yleensä ensimmäisenä ne kohteet, jotka on jo luonnostaan korjattu paperikoneen runkovälissä. Näitä ovat ääripään esimerkkinä esimerkiksi jenkkisylinterit, joita on käytännössä mahdoton poistaa järkevästi korjausta varten niiden omasta positiostaan. Harvemmin mieleen tulevat tehtaan huolto-ohjelmaan kuuluvat telat, jotka koneistetaan joko tehtaan omassa telahiomossa tai lähetetään muualle huoltoon. Tehdastasolla voidaan tehdä yhteenveto esimerkiksi taulukon 6.1 tavalla, johon on taulukoitu kaikki tehdastasolla huollettavat telat jokaiselta konelinjalta ja telan kohdalle on kirjattu sille tehtaan telahiomossa tai ulkoa ostettuna tehty hionta.

Taulukko 6.1. Jokilaakson tehtailla hiottavat telat paperikonelinoittain.

Jokilaakson tehtailla hiottavat telat	Kaipola MFS, PK4	Kaipola LWC, PK6	Kaipola News, PK7	Jkoski Tarra, PK3	Jkoski MFC PK4	Jkoski SC PK5	Jkoski SC PK6
Veto-, johto ja KT- telat	?	?	?	?	?	?	?
Pic-up imutela				?			
Viiran imutela	?			?	2		
Puristimen imutela	?	?	?	?		?	?
Puristimen uratela				?			
Keskitela	?	?	?		?	?	?
CD-telat	?						
Termotelat	?						
Välikalanterin telat		?	?		?		
Vastatelat		?		?	?		
Sym sizer telat							
SC:n veto- ja kokillitelat							?
SC:n Küsters- telat							
SC:n polymeeritelat							?
SC:n nipcot							
SC:n ala-SYM							?
SC:n ylä-SYM							?
Konekalanterin telat			?				
Tampuuriraudat			?				
Soft kalanterin termotelat				?	?		
Soft kalanterin polymeeritelat				?	?		
SC:n kuitutelat		?		?		?	?

Tähän taulukkoon tehtailla hiottavat telat tehtaan laajuisesti konelinoittain.

Taulukon 6.1 mukainen kokonaiskartoitus koko tehdasalueen hiottavista teloista on avuksi silloin, kun tehdään kunnossapidon kannalta päätöksiä sen suhteen, lähdetäänkö mahdollisia runkovälihiontoja tekemään itse vai ei ja millaista laitteistoa hankitaan. Tässä taulukossa on esimerkiksi merkattu erilaisin värein mahdollisia kohteita runkovälissä hiottavaksi. Kriteerit olivat seuraavanlaisia:

- tela pysyy hiontojen välillä muodossa ja vain pieni materiaalin poisto on tarpeellinen
- tela on vaikea irrottaa tai vastaavasti sinne on kiinnitettävissä runkovälihiontaan tarvittavat työkalut pienellä vaivalla
- tela joudutaan lähettämään muualle hiottavaksi
- runkovälihionnalla voidaan saavuttaa muita etuja, kuin esimerkiksi parempi dynaaminen muoto

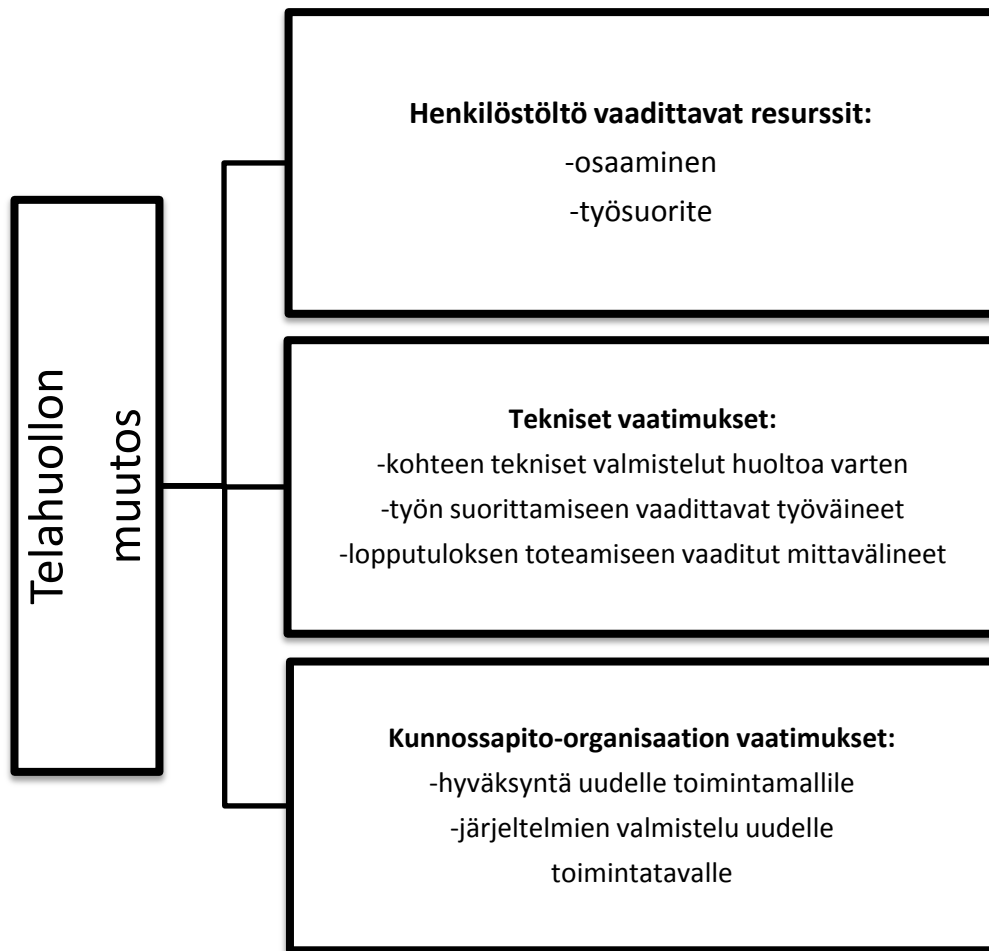
Läheskään kaikki taulukon telat eivät täytä näitä kriteerejä, mutta näillä vaatimuksilla saatiin rajattua suurin osa telahiomakoneella käyvistä teloista pois tarkastelun alta ja voidaan keskittää resursseja tehtaan kunnossapidon kannalta oleellisiin telapositioneihin, sillä suurimmalla osalla telapositioneista telan irrottaminen koneesta huollettavaksi on järkevä toimenpide.

Paperikonelinjakohtaisesti tehtävästä taulukosta voidaan myös nähdä, toistuvatko samat runkovälihuoltojen mahdollisuudet enemmänkin yhdellä paperikoneella taulukon pystysuunnassa, vai löytyykö samantapaisia kohteita enemmän vaakasuunnassa eri koneilta, mutta samasta positioista. Taulukosta 6.1 on esimerkiksi havaittavissa selvästi, että vaakasuunnassa lähes joka koneella puristinosan keskitela on merkitty mahdolliseksi runkoväli huoltokohteeksi. Tässä tapauksessa voitaisiin esimerkiksi lähestyä kehittämällä menetelmä, joka toimii hyvin keskitelojen karhennukseen erilevyisillä paperikoneilla. Jos kohteita löytyisi vastaavasti enimmäkseen yhdeltä paperikoneelta, olisi harkinnan arvoista lähteä kehittämään laitteistoa koneen runkoleveyden perusteella, sillä se olisi yhteinen tekijä kaikille huollettaville kohteille kyseisellä koneella.

6.3 Huoltotoiminnan suorittaminen itse tai ulkoistettuna

Tarkasteltaessa palvelun hankkimista ulkoa tai vastaavasti sen tekemistä tehtaan oman kunnossapidon resursseja käyttäen, voidaan sen järkevyyttä arvioida sekä kustannusten sekä omien resurssien riittävyyden kannalta kyseistä työtä kohtaan. Tässä kappaleessa keskitytään tarkemmin omien resurssien riittävyyteen työtä kohtaan ja tarpeellisten toimintojen kehittämiseen tehtävää työtä varten. Kappaleessa 6.4 esitellään tarkemmin positiokohtaiseen kustannuslaskelmaan perustuvia arvioita kunkin huoltomuodon kannattavuudesta.

Telahionnan suorittaminen omassa kunnossapidossa asettaa erilaisia vaatimuksia kunnossapidolle, joita on havainnollistettu kuvassa 6.2.



Kuva 6.2. Telahuollon muutoksessa huomioitavat osa-alueet.

Telahuollon suorittaminen joko omassa kunnossapidossa tai ulkoa ostettuna vaatii kaikkien vaatimusten täyttymisen, jotta se sujuu jouhevasti. Pohdittaessa toimintatapojen muutosta, tulee usein vastaan rajoitteita osassa näistä vaatimuksissa. Osa näistä vaatimuksista, kuten esimerkiksi laitteisto ja osaaminen voidaan ostaa ulkoa. Tällöin ei välttämättä tarvitse heti uuteen menetelmään siirryttäessä kehittää kaikkea kerralla kuntoon ja menetelmien soveltuvuutta kokonaan omaan kunnossapitoon voidaan päästä kokeilemaan myös pienemmillä taloudellisilla riskeillä.

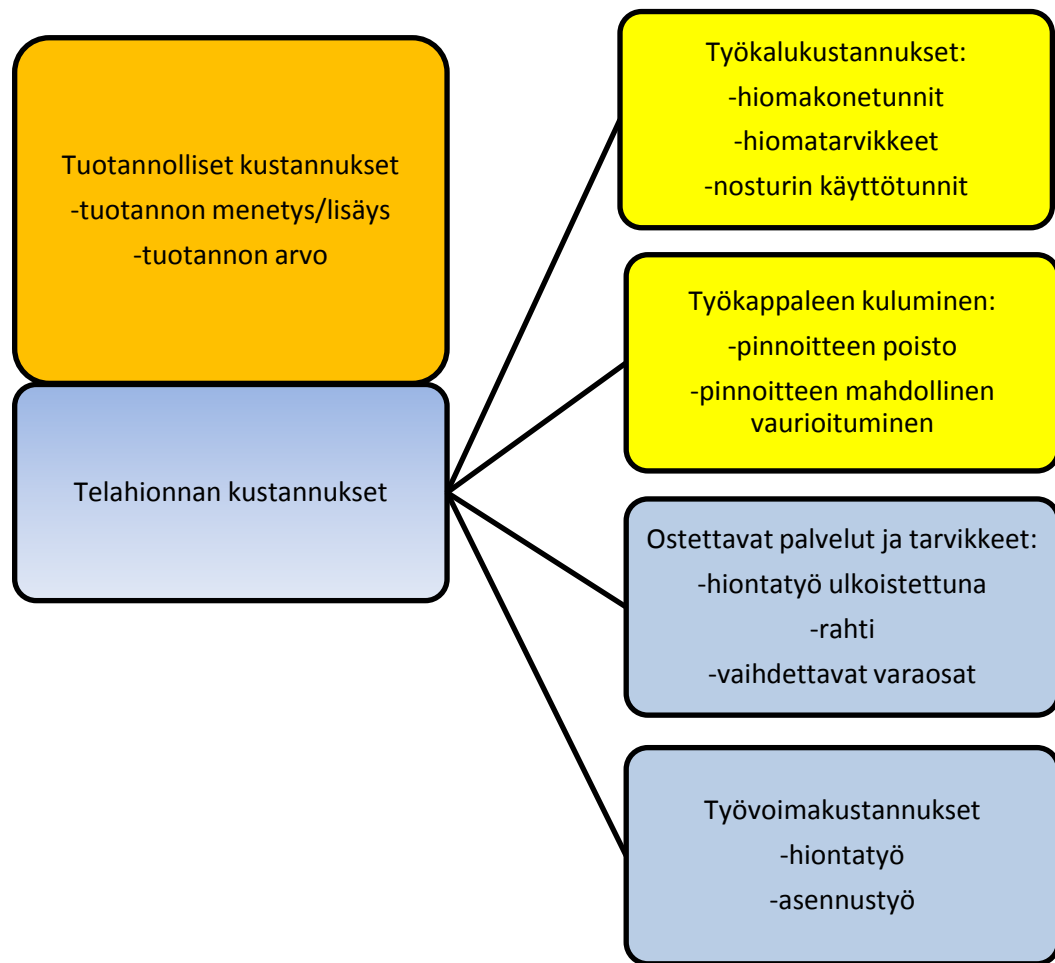
Kappaleessa 5 luetelluista erilaisista runkovälissä tehtävistä kunnossapitotöistä suurin osa on töitä, jotka eivät kuulu paperikoneen vakituiseen huolto-ohjelmaan. Näitä töitä varten on myös olemassa yleensä heikommat valmiudet, kuin jo valmiiksi paperikoneen huolto-ohjelmassa olevia vakituksia huoltokohteita varten. Tarvittavien resurssien löytäminen työtä varten on siis lähtökohtaisesti helpompaa, jos telasta on kertynyt jo aikaisempaa huoltotietoa toisesta olemassa olevasta huoltomenetelmästä.

6.4 Menetelmiä positiokohtaisen runkovälityön kannattavuuden arviointiin

Arvioitaessa runkovälitöihin siirtymisen kannattavuutta, lähdettiin asiaa lähestymään kustannusten näkökulmassa. Telahionnan kustannukset jaettiin kuvan 6.3 mukaan kunnossapidon ja tuotannon kustannuksiin. Kustannuksia lähestyttiin toimintopohjaisen kustannuslaskennan näkökulmasta, jossa päätoimintona olevan telahionnan osatoimintoja selvitettiin ja määritettiin tärkeimmät osatoiminnot, joita tarvitaan telan toiminnon ”hiotaan tela” suorittamiseksi.

Toimintopohjaiseen laskentaan päädyttiin, koska tällöin välillisten kustannusten kohdistaminen suoraan kustannuspaikalle on tarkempaa. Toimintopohjaisessa kustannuslaskennassa välillisten kustannusten kohdistus ei tapahdu esimerkiksi jonkun yksikön keskiarvon mukaan, joka voisi tässä tapauksessa olla esimerkiksi ”tämän verran kalanterin telan hionta maksaa keskimäärin”. Toimintopohjaisessa kustannuslaskennassa kustannusten aiheuttamisperiaate on selkeämpi, jossa oletetaan laskentakohteelle kohdistettujen toimintojen resurssikäytön tarkkaa tietämystä. [Teollisuustalous]

Kuvassa 6.3 esitetyt osatoiminnot jaettiin tarpeen mukaan vielä pienempiin ali-toimintoihin, jonka pohjalta tehtiin toimintopohjainen kustannuslaskenta. Kustannuslaskennan tarkoituksena on kyetä laskemaan mahdollisen runkovälihionnan kohteeksi valikoituvan telan runkovälihionnassa syntyviä kustannussäästöjä. Koska laskuri on yleismallinen, jää käyttäjän vastuulle valita kussakin tapauksessa mukana olevat toiminnot, esimerkiksi samalla tehtaalla hiottavalle telalle voi kohdistua rahtikustannuksia riippuen siitä, meneekö se nosturilla suoraan konelinjan vieressä sijaitsevaan hiomoon vai kauemmaksi hiontaan.



Kuva 6.3. Telahiontoiminnan aiheuttamat kustannukset.

Koska kunnossapidon toimilla on vaikutusta molempiin kunnossapidon ja tuotannon kustannuksiin, on kustannukset eroteltu toisistaan kustannuslaskennassa. Jos esimerkiksi halutaan tehdä strateginen päätös, että runkovälihionnalla ei saa olla positiivista tai negatiivista vaikutusta tuotannon kustannuksiin, voidaan keskittyä ainoastaan kunnossapidon kustannuksiin.

Taulukossa 6.4 on esitelty runkovälihionnann ja telahiomossa tapahtuvan telahionnan päätoimintoja. Kuten taulukosta voidaan huomata, on molempiin sisällytetty myös tuotannon kustannuksia, jotka on kohdistettu kyseiselle hiontavälille. Tuotannon kustannuksia ovat menetetty tai saavutettu tuotanto sekä mahdollinen lopputuotteen laadun paraneminen tai heikkeneminen hiontavälillä.

Taulukko 6.4. *Esimerkki runkovälihionnan ja telahiomakoneella tapahtuvan hionnan päätoimintojen kustannuksista.*

Telahionnan kustannukset runkoväli hionnassa:	
Pinnoitteen poisto:	8 250,00 €
Työkalukustannukset:	485,00 €
Työvoimakustannukset:	840,00 €
Nosturin käyttö:	- €
Siivoukset:	200,00 €
Kustannukset/säästöt tuotannossa:	- €
Mekaanisen kustannukset:	9 775,00 €
Tuotannon kustannukset:	- €

Telahionnan kustannukset perinteisessä hionnassa:	
Pinnoitteen poisto:	12 000,00 €
Työkalukustannukset:	1 200,00 €
Työvoimakustannukset:	2 240,00 €
Nosturin käyttö:	400,00 €
Vaihdettavat varaosat:	100,00 €
Kustannukset/säästöt tuotannossa:	- €
Kuljetuskustannukset:	500,00 €
Hionnan osto ulkoa:	- €
Mekaanisen kustannukset:	16 440,00 €
Tuotannon kustannukset:	- €

Taulukoissa olevat luvut ovat esimerkkejä eräältä tela ja pinnoitetyypiltä. Kustannusten suuruusluokat ja niiden keskinäiset suhteet vaihtelevat pinnoitteesta ja telan positiosta riippuen huomattavasti, joten kuvien taulukoiden lukuarvoja ei voi pitää mitenkään yleispätevinä.

Laskemalla telakohtaiset kustannukset, määrittelemällä hiontaväli ja kuinka usein telan tulee käydä telahiomakoneella muodon korjauksessa ja mittauksessa, saadaan taulukon 6.5 mukainen laskelma vuosikohtaisista kustannuksista kyseisen telan kohdalla.

Taulukko 6.5. *Esimerkki telaposition arvioiduista kustannuksista ja kustannussäästöistä vuositasolla.*

<u>Arvio positiokohtaisista säästöistä runkovälihionnan kautta:</u>	
<u>Esitietoja:</u>	
Telan hionnat vuotuisesti hiomossa:	2 kertaa
Kuinka monta hiomokäyntiä jää väliin:	3 kpl
Telahiomossa tapahtuvat hionnat:	25,0 %
Runkovälissä tapahtuvat hionnat:	75,0 %
<u>Telan vuotuiset hiontakustannukset telahiomossa:</u>	
Perinteisellä telahuollolla syntyvät kustannukset:	32 880,00 €
<u>Telan vuotuiset hiontakustannukset yhdistetyllä runkoväli- ja telahiomo huollolla:</u>	
Telahiomo hiontojen kustannukset:	8 220,00 €
Runkoväli hiontojen kustannukset:	14 662,50 €
Summa:	22 882,50 €
Telakohtainen säästö vuodessa: 6 397,50 €	
Tuotannon lisäarvo: - 3 600,00 €	
Mekaanisen kunnossapidon säästö: 9 997,50 €	

Taulukosta saatavan kyseisen telaposition oletusarvoisen kustannussäästön avulla voidaan tehdä esimerkiksi takaisinmaksulaskelmia mahdollista laitteiden investointia varten tai käyttää laskentaa apuna ostettaessa palveluja ulkoa.

Laskemalla taulukon 6.1 mukaisesti merkattuihin mahdollisesti runkovälihiontaan soveltuvien positiioihin kustannussäästöt, saadaan kokonaiskuva tehdastasolla syntyvästä mahdollisesta vuotuisesta säästöstä. Samalla voidaan tehdä kunnossapito strategian kannalta oleellisia päätöksiä, joita ovat mm:

- investoidaanko laitteet vai ostetaanko palveluna ulkoa?
- minkä tapainen laite toimisi koko tehtaan näkökulmasta mahdollisimman laajalle telavalikoimalle?

- tehdäänkö ainoastaan suurimmat säästöt aiheuttaviin positioihin kiinteät laitteet, vai toimitaanko telata toiselle siirrettävillä laitteilla?
- Pyritäänkö kehittämään vaihtoehtoisia työtapoja, kuten telojen vaihtoa tai hiontaa hiomakoneella?

Telaposition huollosta ja pinnoitteen hionnasta telapinnan oletetun elinkaaren aikana voidaan myös tehdä kustannuslaskennan avulla elinkaarelle kohdistettu kustannuslaskelma ja pyrkiä optimoimaan erilaisten telaposition huoltoihin käytettyjen toimintojen yhdistelmiä. Laskennassa perusoletukseksi on otettu lähtökohta, jossa pinnoite pystytään ainakin kerran huoltamaan runkovälissä siten, että se kestää vähintään yhtä pitkään prosessissa, kuin vastaavasti telahuollossa käyvä tela. Ilman tätä oletusta runkovälihuolto lyhentäisi huoltoväliä odotusarvoisesti suunnitellulla huoltovälillä, jolloin se ei ole menetelmänä järkevä.

6.5 Runkovälityökohteen työsuunnittelu

Onnistuneelle kunnossapitotyölle tärkeänä edellytyksenä voidaan pitää hyvää työsuunnittelua. Paperitehtaalla on tätä varten omia työsuunnittelijoita, jotka suunnittelevat ja aikatauluttavat seisokkityö etukäteen. Runkovälihuoltoja varten tehtiin oma tarkistuslista, joka on tässä purettu osiin ja sen sisältöä tarkastellaan tarkemmin.

Listan on tarkoitus kiinnittää huomiota työn sujuvuuden kannalta tärkeisiin näkökulmiin. Tarkistuslistaa on tarkoitus pystyä soveltamaan useasta eri näkökulmista, eli se sopii työsuunnittelun tueksi tilattaessa työ ulkoa tai tehtäessä työ itse. Lista jaettiin neljään pääalueeseen, jotka ovat itse hiottavan telan kunto yleisesti, telan käyttötapa, kohteen päädimensiot ja muut huomiot. Näitä kohtia on käyty tarkemmin läpi taulukoissa 6.7–6.9.

Taulukko 6.6. *Telan kunto.*

Telan kunto:	
Pinnoitettu (kyllä/ei):	
Pinnoitteen tyyppi:	
Pinnoitteen vahvuus:	
Pinnoitevauriot:	
Tärkein syy hiontaan:	

Telan kuntoa on hyvä analysoida ensimmäisenä työtä suunniteltaessa, jotta oikeanlaiseen vaurioon osataan varautua oikeilla välineillä ja menetelmillä tai jossain tapauksessa jättää koko työ tekemättä, jos se vaikuttaa liian riskialttiilta saavutettuihin hyötyihin nähden. Pinnoitteen tyyppi ja vaurioin syvyys vaikuttavat materiaalin poistoon, valittaviin hiomanauhoihin tai muuhun koneistustapaan sekä tarvittavaan mittausmenetelmään. Pinnoitteen hionnan perimmäisenä syynä on jokin haitta tuotannossa, joten myös

ensikäden tieto tuotannolta vaurion aiheuttamasta haitasta on oleellista, jotta osataan keskittyä oikeisiin asioihin.

Taulukko 6.7. *Telan käyttötapa.*

Telan käyttö:	
Onko tela käytöllinen:	
Pyörimissuunta:	
Voiko pyörimissuunnan vaihtaa:	
Onko käyttömoottorille tilaa:	
Telan kuva käytön valmistukseen:	
Tarvitseeko tela ulkoista voitelua:	

Kaikki olemassa olevat telapintojen hionta ja koneistusmenetelmät vaativat telan pyörittystä. Työn onnistumisen kannalta on oleellista selvittää onko tela käytöllinen, mihin suuntaan se pyörii ja mille nopeusalueelle sen saa säädettyä. Jotkut työmenetelmät voivat olla riippuvaisia pyörityssuunnasta ja nopeudesta molemmista.

Käyttötönnän telan tapauksessa, kuten esimerkiksi suurimman osan johtoteloista tai viiravetoisen kuivatussylinterin kohdalla, voidaan rakentaa ulkopuolinen käyttö, jossa vaihdemoottori kiinnitetään telan toisen pään akseliin kiinni ja väliaikaiselle käytölle tehdään momenttituki esimerkiksi runkoihin tai yksinkertaisesti taljoilla kahteen suuntaan kiristämällä. Voitelun toimiminen kyseisessä kohteessa tulee aina varmistaa erikseen tilapäisiä käyttöratkaisuja tehtäessä, jotta vältetään mahdollisilta laakerivaurioilta tai esimerkiksi telan vaipan kuormituselementtien vaurioilta.

Taulukko 6.8. *Hiottavan telan ja sen lähialueen päädimensiot.*

Hiottavan kohteen päädimensiot:	
Vaipan mitta:	
Telan halkaisija:	
Runkoväli:	
Tilaa HP:ssa (runkoon):	
Tilaa KP:ssa (runkoon):	
Mihin kohtaan laitteiston voisi sijoittaa:	
Valmiit kierrereivät:	
Voiko hitsata (onko esim. valurunko):	
Etäisyydet lähimpiin kohteisiin:	
Layoutkuva:	

Hiottavan telan mitat ja sen ympäristö vaikuttavat laitteiston sijoitteluun ja esimerkiksi laitteiston tuennan suunnitteluun. Riittävän jäykkä kaksitukinen hiontapalkki on kohtalaisen helppo toteuttaa paperikoneen runkovälin ollessa joitain metrejä, mutta esimerkiksi kymmenen metrin tuentaväliä lähestyttäessä kannattaa jo katsella kohteen ympä-

ristöä, olisiko siellä jo valmiiksi olemassa jotain jota voisi käyttää työssä lisätuentana. Myös laitteiston kiinnitykseen on syytä kiinnittää huomiota, sillä työn toistuvuudesta samassa kohteessa ja paperikoneen rungoista riippuen voi joskus olla kannattavaa esimerkiksi hitsata johderungot kiinni väliaikaisesti ennemmin kuin alkaa tehdä niitä varren kierrereikiä tai muita valmiita kiinnitys alustoja. Laitteiston sijoittelussa paperikoneen layout – kuva on hyvä apuväline, josta yleensä voidaan nähdä sivusta päin katsottuna koneen poikkisuunnassa kulkevat toimilaitteet.

Taulukko 6.9. *Muut huomion arvoiset asiat.*

Muuta huomioitavaa:	
Käytettävissä oleva aika:	
Nosturin käyttö:	
Vaadittavat turvavälineet:	
Hoitotasot (siirto, valmistus):	
Sähköt:	
Paineilma:	
Vesi:	
Pölynpoisto:	
Palovartiointi ja alueen eristäminen:	
Muut viereiset työmaat:	

Muiden huomioiden arvoisten asioiden listasta voisi tehdä loputtoman pitkän, mutta siihen on laitettu lähinnä hiontaprosessiin tarvittavia toimintoja ja mahdollisten hionnan oheistuotteiden, kuten hiomajätteen ja kipinöiden torjuntaa. Muut viereiset työmaat ja nosturin käyttö liittyvät paljolti toisiinsa, sillä seisokit suunnitellaan monesti nosturin aikataulun mukaan. Työmenetelmä, jossa nosturin käyttöä voidaan välttää mahdollisimman pitkälle, voi useita töitä päällekkäin tehtäessä helpottaa muiden töiden aikatauluttamista.

7 HIONTATESTEJÄ JOKILAAKSON PAPERIKOINEILLA JA NIIDEN TULOSTEN TARKASTELUA

7.1 Testit Jämsänkoskella

Jämsänkosken PK4:llä on kaksi nippinen soft-kalanteri, jossa sekä ja ylä- ja alateloina ovat polymeeripintaiset taipumakompensoidut pehmeät telat ja keskellä on termotela karkaistulla pinnalla. Kuvassa 7.1 näkyy soft-kalanteri tuotannossa. Termotelaa tulee ajoittain koneensuuntaisia naarmuja, jotka menevät koko telan vaipan ympäri. Naarmut voi havaita visuaalisesti pysähtyneenä olevasta telasta ja syvimmät niistä jäljentyvät paperiin. Paperiin jäljentyvät naarmut aiheuttavat telan vaihdon varatelaan, sillä lopputuotteessa niitä ei sallita. Naarmujen syntymisen syistä ei ole tarkkaa tietoa, mutta prosessista epäillään tulevan jotain kovia partikkeleita jotka tarttuvat polymeeriteloihin ja tekevät naarmun siihen kohtaan.



Kuva 7.1. Soft-kalanterin termotela tuotannossa.

Telasta löytyi käyttöhistoriaan perustuen seuraavanlaista tietoa:

- laitepaikka JAM1-2462317, tela numero 4002

- halkaisija 913,6mm, pinnan pituus 5730mm
- asennettu koneeseen 3.12.2012 hiottuna
- vaihdettiin seisokissa 15.1.2013 varatelaan (tela numero 4001)
- 24.4.2011–15.1.2013 välisenä aikana keskimääräinen ajoaika telalla noin 54 päivää
 - Vikaantumisvälit olivat 83, 85, 49, 19, 33, 78, 40 ja 43 päivää
- lisäksi tela joudutaan välillä jäähdyttämään ja siitä pestään pois kiinni palaneita PVA tahmoja. Tämä ei näy vikaantumisvälissä, mutta vie tuotantoaikaa

Telan pinnan kunto paperikoneen jäljiltä 43 päivän ajon jälkeen selvitettiin mittaamalla Ra- ja Rz-arvot kymmenestä satunnaisesta pisteestä. Mittaus suoritettiin Mitutoyo SJ-201 pinnankarheusmittarilla, joka kalibroitiin Ra 0,09µm mittapalalla näyttämään oikein. Mitta-alueena käytettiin 3x0,8. Taulukosta 7.2 on nähtävissä molempien mitattujen suureiden keskiarvot. Mittauksia ei kuitenkaan tehty naarmujen kohdalta, koska tämä vääristäisi kokonaiskuvaa ajokelpoisesta pinnasta. Ra arvojen mukaan tela olisi tuotantokelpoinen ja pinnaltaan tasalaatuinen.

Taulukko 7.2. *Telan Ra- ja Rz-arvot mitattuna 10 satunnaisesta pisteestä.*

Mittaus	Ra (µm)	Rz (µm)
1.	0,05	0,79
2.	0,05	0,80
3.	0,05	0,73
4.	0,05	0,83
5.	0,05	0,81
6.	0,05	0,76
7.	0,04	0,78
8.	0,05	1,03
9.	0,05	0,72
10.	0,05	0,97

	$Ra_{average}$	$Rz_{average}$
Keskiarvo:	0,049	0,822

Telan silmin havaittavat naarmut kartoitettiin siten, että ne merkittiin telan pinnan hoi-topäästä alkaen. Telan Ra- ja Rz-arvot mitattiin kunkin naarmun kohdalta kahteen kertaan. Rz-arvo, joka kuvastaa pinnankarheusprofiilin kymmenen mittapisteen poikkeaman keskiarvoa karheusjakauman keskilinjasta, otettiin tarkemman tarkkailun alle. Kuvassa 7.3 on selitetty tarkemmin Rz-arvon laskentatapa.

Rz-arvo ei vastaa täysin koko totuutta naarmun syvyydestä. Täysin tasalaatuisella pinnalla mitattaessa Rz-arvo korreloi varsin hyvin Ry-arvon kanssa, joka ilmoittaa maksimi syvyyden pinnankarheushuipusta matalimpaan kohtaan. Koska suoraan pinnankarheuden Ry-arvon antavaa mittaria ei ollut käytettävissä, jouduttiin naarmun sy-

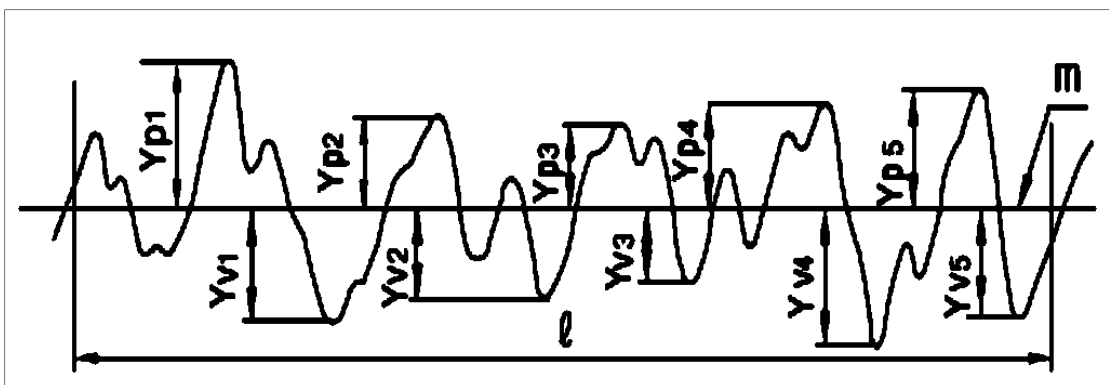
vyyydestä tekemään ennuste, joka R_z -arvon määritelmään perustuen pahinta mahdollista syvyyttä yksittäiselle naarmulle sillä oletuksella, että muut naarmut ovat täysin tasalaatuisia. Tässä tapauksessa mitattiin käytännössä taulukon 7.1 mukaista hyvin tasalaatuisia pintaa, jossa oli yksi suurempi naarmu. Tällöin tarkempi ennuste naarmun syvyydestä saadaan olettamalla kaavan (1) Y_v^n ja Y_p^n yhdeksän ensimmäistä arvoa tasalaatuisiksi R_z arvon puolikkaiksi ja ratkaistaan sen avulla kymmenes arvo. Tästä saamme R_z arvon kaavan (2) muotoon,

$$R_z = \frac{|Y_{p1} + Y_{p2} + Y_{p3} + Y_{p4} + Y_{p5}| + |Y_{v1} + Y_{v2} + Y_{v3} + Y_{v4} + Y_{v5}|}{5} \quad (3)$$

$$R_{z_{yhdistetty}} = \frac{9 \times \left(\frac{R_{z_{average}}}{2} \right) + \left(R_y - \frac{R_{z_{average}}}{2} \right)}{5} \quad (4)$$

josta ratkaisemalla R_y saadaan kaavan (3) mukainen lauseke, jonka avulla on laskettu ennuste naarmun syvyydestä taulukon 7.4 $R_{y_{ennuste}}$ sarakkeeseen. Koska käytetyssä Mitutoyon mittarissa timanttisen mittakärjen säde on $4\mu m$, on tuloksiin lisätty $1\mu m$, koska pallo ei kuitenkaan yllä naarmun pohjalle asti. Tämä on hyvin karkea oletus ja virhemarginaali on riippuvainen paljolti vaurion muodosta. R_y -arvot olisi voitu myös mitata suoraan siihen soveltuvalla mittavälineellä, jota ei kuitenkaan mittaushetkellä ollut tarjolla. Ennuste syvyydestä on hyvin suuntaa antava ja sen on tarkoitus olla avuksi tulevaan materiaalinpoistoa arvioidessa. [Accretech]

$$R_{y_{ennuste}} = 5 \times R_{z_{yhdistetty}} - 4 \times R_{z_{average}} + 1\mu m \quad (5)$$



Kuva 7.3. R_z -arvon laskenta.

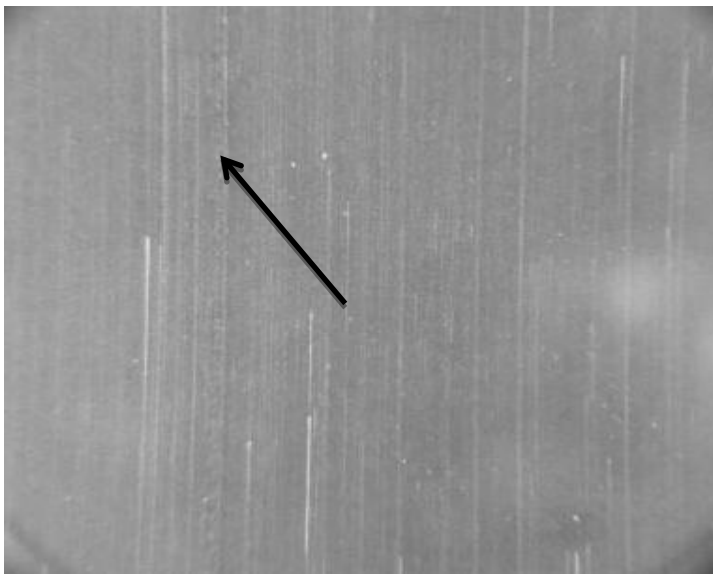
Taulukkoon 7.4 on kirjattu kunkin naarmun molemmat R_a ja R_z mittaukset. Taulukossa on merkattu punaisella yli 1,3 R_z -arvon toisella mittauksista saavuttaneet tulokset. R_z -arvoista on laskettu myös kullekin naarmulle kahden mittauksen keskiarvo, jotka on lajiteltu vihreästä punaiseen siten, että punainen on huonoin arvo. Lisäksi jokaisesta

naarmusta otettiin valokuva. Taulukossa on merkattu punaisella ne kuvat, joissa naarmut näyttivät visuaalisesti pahalta. [Tribologia]

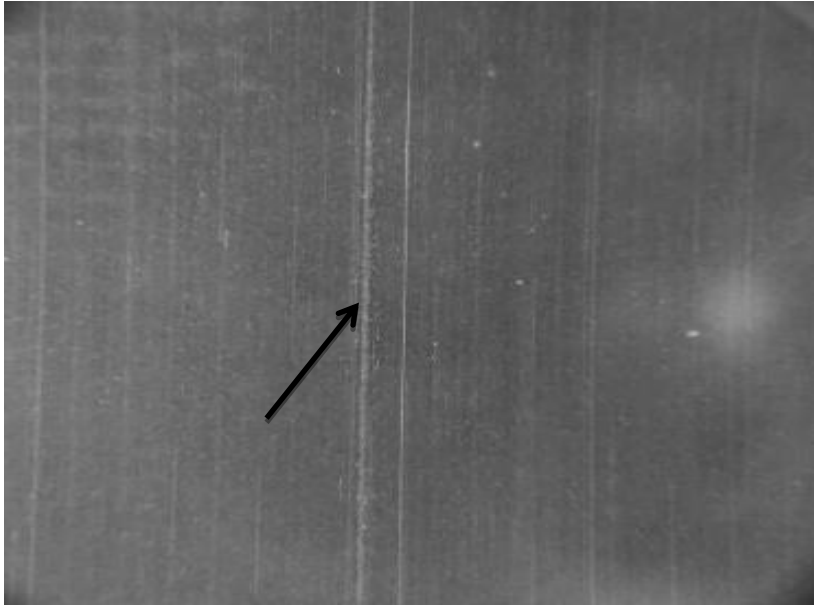
Taulukko 7.4. Kartta telan naarmuista ja naarmujen syvyyksistä.

Mitta HP:sta	Ra ₁	Rz ₁	Ra ₂	Rz ₂	Rz _{yhdistetty}	Ry _{ennuste}	Kuva nro.	Huom!
932	0,07	0,80	0,05	0,93	0,87	2,04	DSCN0432	
1130	0,08	1,70	0,07	1,32	1,51	5,26	DSCN0433	
1328	0,13	1,46	0,05	1,11	1,29	4,14	DSCN0431	
2416	0,11	1,40	0,10	1,47	1,44	4,89	DSCN0434	
3487	0,04	0,68	0,04	0,71	0,70	1,19	DSCN0435	
3888	0,04	0,90	0,05	1,01	0,96	2,49	DSCN0436	
3983	0,05	0,67	0,04	0,67	0,67	1,06	DSCN0437	
4054	0,06	1,17	0,07	1,21	1,19	3,66	DSCN0438	tupla
4374	0,05	1,15	0,05	1,13	1,14	3,41	DSCN0439	
4513	0,16	2,10	0,13	1,92	2,01	7,76	DSCN0440	tupla
4516	0,06	1,17	0,06	0,88	1,03	2,84	DSCN0440	
4925	0,04	0,90	0,05	0,96	0,93	2,36	DSCN0441	
4996	0,07	1,19	0,13	1,87	1,53	5,36	DSCN0442	tupla
5331	0,06	1,25	0,05	1,04	1,15	3,44	DSCN0443	
5358	0,06	0,99	0,06	1,23	1,11	3,26	DSCN0444	

Kuten taulukosta voidaan huomata, voidaan naarmun visuaalisen ulkonäön ja Rz-arvojen välille löytää korrelaatio, mutta tämän testin perusteella kumpaakaan tulosta ei voida pitää täysin luotettavana. Kuvista 7.2 ja 7.3 voidaan huomata, että pelkkä visuaalinen tarkastelu ei välttämättä kerro koko totuutta pinnan vaurioin vakavuudesta. Kuvissa on käytössä 30-kertainen suurennos.



Kuva 7.5. Kuva naarmusta, joka ei näy visuaalisesti pahalta, mutta pinnankarheusmittari tunnistaa sen. (Taulukon kuva DSCN 434)



Kuva 7.6. Kuva naarmusta, joka näyttää pahalta ja on myös todennettu pahaksi pinnanankarheusmittarin perusteella. (Taulukon kuva DSCN 433)

Kuvien 7.2 ja 7.3 nuolella osoitettuja naarmuja vertailemalla voimme huomata kaksi erityyppistä pintavauriota, joista kuvan 7.2 vaurio on joukko pisteitä, joka on jäljentynyt iskumaisesta kuormituksesta, Rz-arvo noin 1,4. Kuvan 7.3 vaurio näyttää enemmän abrasiiviselta kulumisjäljeltä, jossa on tapahtunut liukumista jonkin kovan partikkelin yli. Tämän naarmun Rz-arvo oli noin 1,7. [Tribologia]

7.1.1 Telan 4002 kunnostushionta

Tela 4002 kuljetettiin kunnostettavaksi UPM:n Kaipolan tehtaan telahiomoon. Hiomossa oli tarkoitus simuloida runkovälihiointaa samoissa olosuhteissa mitä kalanterilla vastaavat olosuhteet olisivat. Hionnassa käytettiin kuvan 7.7 Herkules hiomakonetta, jonka RollCal 3 mittalaitteistolla dokumentoitiin telan tärkeimmät mitat ennen ja jälkeen hionnan. Tavallisesti telasta on poistettu vauriot ensin kivellä hiomalla ja sen jälkeen sen pinta on viimeistelyhiottu. Sekä kivihiontaan, että viimeistelyhiontaan on käytetty hiontanestettä, joka on tavallisesti veden ja soodan sekoitusta. Koska kalanteri ympäristönä asettaa tiettyjä rajoituksia, oli hionnalla lähtiessä vaatimuksena:

- hionnan tulee tapahtua kuivana ilman hiontanestettä
- muodon tulee säilyä alkuperäisenä
- alkupään materiaalinpoistonauhojen tulee kestää noin 150 °C lämpötiloja
- hiomakoneen tulee olla nopeasti asennettavissa
- telan kehänopeuden tulee olla noin 200m/min (70rpm)



Kuva 7.7. Termotela alkumittauksessa ennen hiontaa RollCal 3 mittalaitteella. Oikeassa alalaidassa käyttöpään naarmut ovat selvästi havaittavissa puhdistushionnan jälkeen.

Telan hionta aloitettiin 40 μ m piikarbidi nauhalla, joka ei käytännössä poista materiaalia telasta, mutta puhdistaa sen ennen mittausta. Telasta mitattiin ennen ja jälkeen hionnan ympyrämäisyys molemmista päistä ja keskeltä, säteisheitto molemmista päistä ja keskeltä sekä halkaisijavaihtelu koko telan matkalta. Alkumittauksen perusteella selvisi, että tela oli ennen hiontaa sille asetettujen toleranssien rajoissa.

Telaa hiottiin viimeistelyhiontalaitteella, jossa päättyvä hiomanauha pyörii hitaasti ja varsinainen työstöön vaadittu nopeus tulee telan pyöryksestä. Hiomanauhaa kuormitetaan kontaktipyörällä ja paineilmasylinterillä, jolloin kuormituksesta tulee joustava ja sen pitäisi seurata telan pieniä muotovirheitä ja dynaamista poikkeamaa täysin ympyrämäisestä pyörimisradasta, jota tulee esimerkiksi laakerivirheestä ja keskitaipumasta. Hionnassa tehtiin siis oletus, että hiomanauhan materiaalia poistava työ pysyy koko telan vaipan pituudelta aina samana, koska kesken ylityksen parametreihin ei kosketa ja muodon pitäisi siten säilyä.

Hionnan aikana käytetyt hionnan parametrit on listattu taulukkoon 7.8, jossa jokainen hiontakerta on kuvattu erilliseksi toiminnoksi. Hiontakerralla tarkoitetaan työstön katkeamista, jonka yhteydessä telan pinnankarheus yleensä mitataan, hiomanauha vaihdetaan tai telasta tehdään muita havaintoja.

Taulukossa hionnan nousu tarkoittaa hiomakoneen kelkan telan suuntaista liikettä kierrosta kohtaan. Koska nousua vaihdeltiin jatkuvasti ylityksien välissä ”kierteen” välttämiseksi, on siitä ilmoitettu ainoastaan keskiarvo. Taulukossa on myös taulukoitu viimeistelyhiontalaitteen kuormitus sylinterin paine, käytetty hiomanauha, hionnan aloitus ja lopetusajat, kumulatiivinen hionta-aika sekä välimittauksien antamat Ra- ja Rz-arvot.

Taulukko 7.8. Kunnostushionnan tärkeimmät ajoparametrit ja tulokset.

Toiminto	Nousu ka. (mm)	Ylityksiä (kpl)	Paine (bar)	Nauha	Aloitus (klo)	Lopetus (klo)	Kesto (h:min)	Kumul. kesto (h:min)	Lask. aika (min)	Ra	Rz
1.	20,0	2	2,50	40 μ , Ka100	12:03	12:11	0:08	0:08	8,2	0,07	1,02
2.	19,8	5	2,50	60 μ Al100	12:41	13:04	0:23	0:31	20,7	0,15	2,25
Apupiste								1:00		0,36	3,41
3.	11,8	19	4,00	100 μ Al200	13:20	15:55	2:35	2:58	131,5	0,36	3,41
4.	4,5	2	3,00	60 μ Al100	16:08	16:45	0:37	3:35	36,4	0,30	2,93
5.	3,0	1	3,00	60 μ Al100	16:48	17:22	0:34	4:09	27,3	0,30	2,93
6.	6,0	2	3,00	30 μ Al100	17:30	18:02	0:32	4:41	27,3	0,21	2,17
7.	8,3	3	3,00	30 μ Al100	18:07	18:31	0:24	5:05	29,5	0,18	1,98
8.	9,7	3	3,00	30 μ Al100	18:38	19:03	0:25	5:30	25,4	0,15	1,82
9.	10,0	3	3,00	30 μ Al100	19:09	19:34	0:25	5:55	24,6	0,13	1,68
10.	3,0	1	2,00	15 μ Al100	19:42	20:12	0:30	6:25	27,3	0,10	1,27
11.	5,0	1	1,50	15 μ Al100	20:25	20:42	0:17	6:42	16,4	0,10	1,29
12.	12,5	2	1,50	15 μ Tim100	20:54	21:08	0:14	6:56	13,1	0,10	1,31
13.	9,3	3	2,00	30 μ Tim el100	21:22	21:52	0:30	7:26	26,3	0,12	1,51
14.	3,0	1	2,00	15 μ Tim el100	22:06	22:33	0:27	7:53	27,3	0,12	1,79
15.	5,0	1	2,00	15 μ Tim el100	22:41	22:48	0:07	8:00	16,4	0,12	1,79
16.	3,5	2	1,50	15 μ Al100	22:57	23:46	0:49	8:49	46,8	0,08	1,03
Summa:		51					8:57		504,6		
Ka:	8,4	3,2	2,5							0,16	1,88

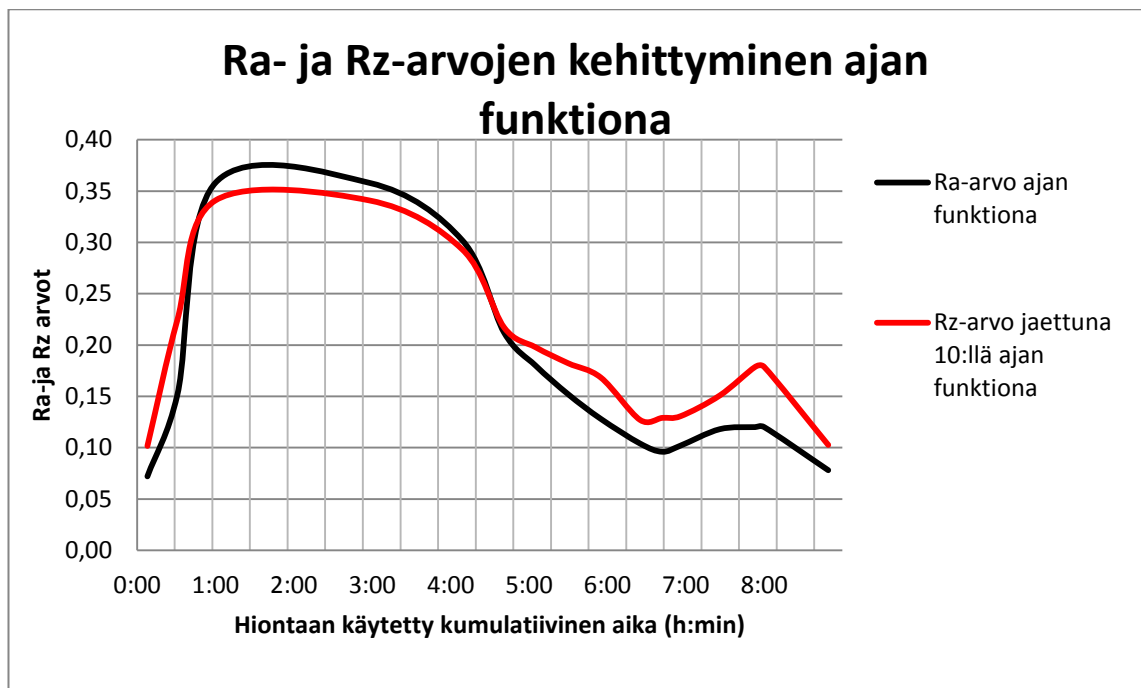
Tämän lisäksi hionnan aikana kertyi seuraavia huomioita eri toimintoihin liittyen:

- hyvin pian telan hionnan aloittamisen jälkeen tela alkoi näyttää laikukkaalta
- toiminnon 3. oli tarkoitus poistaa karhealla nauhalla naarmut, jolloin hiomanauhan nopeus 100mm /min, muutoin 60mm/min
- klo 15:30 laikut ja välkkyminen ovat hävinneet
- klo 15:45 yhtään naarmua ei ole enää havaittavissa
- viimeisellä ylityksellä hiomapaine 1,0bar, nauhan nopeus 30mm /min

Hionnassa esiintyvän välkkymisen epäillään johtuvan terästen pinnalle muodostuvan lika- ja oksidikerrosten pois kulumisesta. Taulukosta tärkeimpinä sarakkeina hionnan

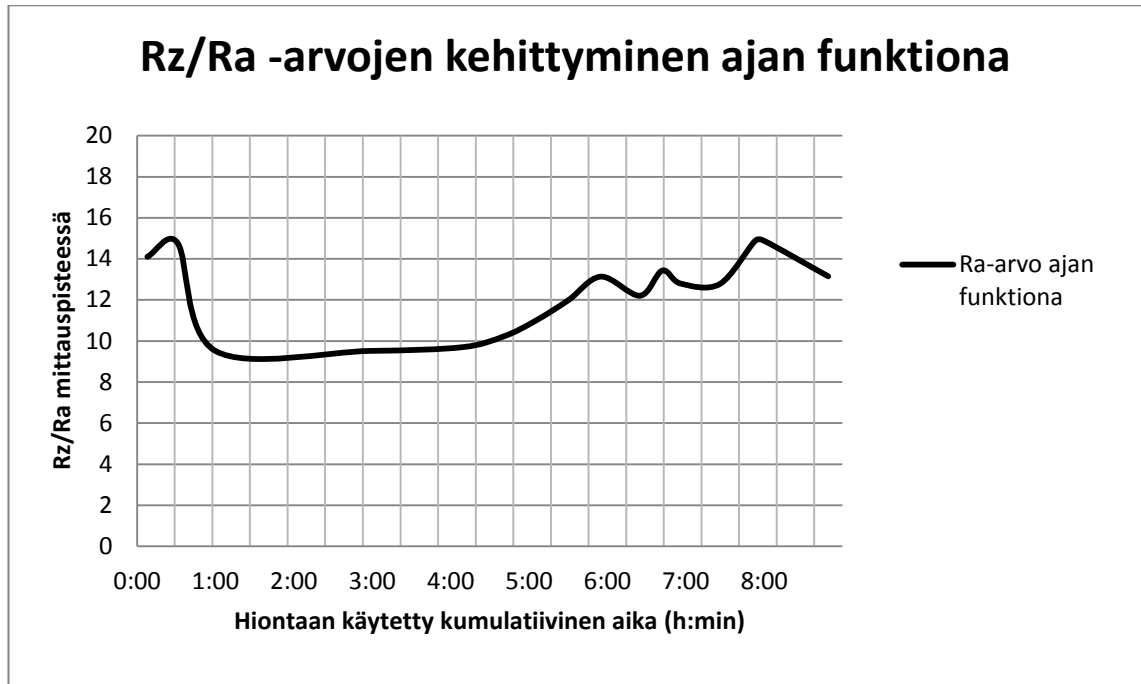
kumulatiivinen kesto sekä sen mukana tulevat Ra- ja Rz arvot kertovat hyvin hionnan etenemisestä, joka on kuvattu tarkemmin kuvan 7.8 kuvaajassa. Kuvassa on hionnan Ra- ja Rz-arvot käytetyn tehollisen hionta-ajan funktiona. Rz-arvo on jaettu kymmenellä, jotta se saatiin skaalattua samaan kuvaajaan havainnollisesti Ra-arvon kanssa. Näiden kahden parametrin vertailu kertoo hionnan tuloksesta sen, kuinka syviä naarmuja pinnassa suhteessa neliölliseen keskipoikkeamaan. Kuvassa 7.9 on kuvattu tarkemmin näiden arvojen suhde hionnassa käytetyn ajan funktiona.

Taulukkoon on lisätty toimintojen kaksi ja kolme väliin apupiste, jolla kuvaajan pinnankarheusarvot vastaavat paremmin totuutta. Tämä siksi, että rouhintahionta 100 μ alumiinioksidi nauhalla kesti yli kaksi ja puoli tuntia ilman pysäytystä ja Pinnankarheus on kuitenkin saavuttanut tälle nauhalle ominaisen karheuden jo huomattavasti aikaisemmin.



Kuva 7.9. Ra- ja Rz-arvojen kehittyminen hiontaan käytetyn kokonaisajan funktiona.

Kuvaajasta voidaan nähdä, miten ensimmäiset puoli tuntia tehtiin töitä liian hienolla nauhalla. Tämän jälkeen noin kolmeen tuntiin asti poistettiin materiaalia karhealla nauhalla jonka jälkeen telan pinnankarheutta alettiin parantaa sille vaadittuun arvoon. Noin viiden tunnin kohdalla voidaan huomata, kuinka on siirrytty liian nopeasti hienorakeiseen nauhaan. Tämä johti erilaisiin nauhakokeiluihin, jotka näkyvät pinnan välillä pinnan karhenemisena ja hienontumisena. Kuvaajasta 7.8 ja taulukosta 7.7 saadun tiedon perusteella voidaan ennustaa eri nauhojen käyttäytymistä ja pyrkiä vähentämään hionta-aikaa. Esimerkiksi laskemalla yhteen materiaalinpoistovaihe ja tämän jälkeinen sileneminen sekä viimeinen pinnan sileneminen, päästään noin viiden ja kuuden tunnin väliin todellisessa hionta-ajassa.



Kuva 7.10. *Ra- ja Rz-arvojen suhde hiontaan käytetyn kokonaisajan funktiona*

Kuvasta 7.9 havaitaan, että mitä matalampi Rz/Ra-arvon suhde on, sitä pidemmälle hionta on edennyt kyseisen nauhan osalta ja sitä tasaisempi pinta on. Kuten kuvassa 7.9, näkyy myös tässä kuvassa liian nopea siirtyminen hienompiin nauhoihin.

7.2 Yhteenveto termotelan hiontatesteistä telahiomakoneella

Yhteenvetona voidaan mainita, että termotelan hiontatesteissä päästiin tavoitteeseen. Kuten liitteenä olevista mittaraporteista voidaan havaita, ei muodolle tapahtunut merkittävää muutosta. Ainoastaan säteisheitto keskellä ennen ja jälkeen hionnan poikkeavat toisistaan johtuen telan staattisesta taipumasta ennen hiontaa. Taulukossa 7.11 on lueteltu telan muotoon liittyviä suureita ennen ja jälkeen hionnan. Termotelan mittaraportteja voi tarkastella tarkemmin liitteistä 1-4, jossa on esitetty halkaisijavaihtelu koko telan matkalla sekä ympyrämaisyys keskellä ennen ja jälkeen hionnan.

Taulukko 7.11. *Yhteenveto telan mitoista ennen ja jälkeen hionnan.*

	Säteisheitto (μm)			Ympyrämaisyys (μm)			Halkaisijavaihtelu (μm)
	HP	Keskellä	KP	HP	Keskellä	KP	Telan matkalla
Ennen	12	23	10	5	4	3	20
Jälkeen	12	13	8	6	5	4	19

Materiaalin poistoa on vaikea arvioida, mutta RollCal 3 –mittalaitteella ei havaittu mitään muutosta absoluuttihalkaisijassa. Toisaalta jo asteen lämpeneminen pyörytyksessä aiheuttaa noin $11\mu\text{m}$ kasvun halkaisijassa, joten telan absoluuttista halkaisijaa ei voida

pitää merkittävänä mittarina ennen ja jälkeen. Naarmujen syvyyden arviointi jälkeenpäin lasketulla Ry-arvolla osoittautui varsin onnistuneeksi. Jos tarkkaillaan karheimman 100 µm hiomanauhan jättämien naarmujen Rz-arvoa, joka on pitkän hionnan jälkeen hyvin likellä Ry arvoa, on ennustettu naarmun syvyys melko tarkasti linjassa tämän tuloksen kanssa.

7.3 Testit polymeeritelalla

Jämsänkoscilla PK3:lla on käytössä vastaavanlainen soft-kalanteri kuin Jämsänkoscilla PK4:lla. Tällä kalanterilla hiontapalkkia ei ole kiinnitetty termotelan positioon kiinteästi ja hiontalaitteiston avulla on mahdollista hioa myös kalanterin pehmeäpintaisia polymeeritelajoja.

Tällä kalanterilla polymeeritelan vaihtoaika on noin 30 vrk. Koska tela on kohtalaisen helppo vaihtaa, vaihdetaan se aina uuteen, jos on syytä epäillä sen pinnan kunnan riittämättömyyttä paperintekoprosessin kannalta. Polymeeripinnan tyypillisimmät vaurioitumismekanismit ovat seuraavanlaisia:

- nipin läpi menneiden partikkelien aiheuttamat kolhut
- telaan koko ympärysmitalle syntyvät pienet naarmut
- likaantuminen
- telaan syntyvät suuret naarmut
- pinnoitevauriot, kuten pinnoitteen halkeilu ja irtoaminen

Näistä vauriotyypeistä kolmesta ensimmäisestä selvittää yleensä hyvin vähäisellä aineenpoistolla, joka on joitain sadasosamillejä telan säteellä. Pahempien vaurioiden tapauksessa tela voidaan joutua pinnoittamaan kokonaan uudestaan, joten niiden ilmetessä tela joudutaan joka tapauksessa irrottamaan koneesta.

Ennen hiontaa tela oli pinnaltaan kohtalaisen hyvässä kunnossa, eikä suuria vaurioita näkynyt. Telassa oli hieman pinttynyttä likaa ja pieniä naarmuja. Telan pinnankarheus oli ennen aloittamista noin 0,3-0,5 Ra. Pehmeillä pinnoilla on taipumus kiillottua prosessissa, jolloin pinnankarheus yleensä paranee lyhyen koneessa olon aikana hieman. [Tehdaspalvelu]

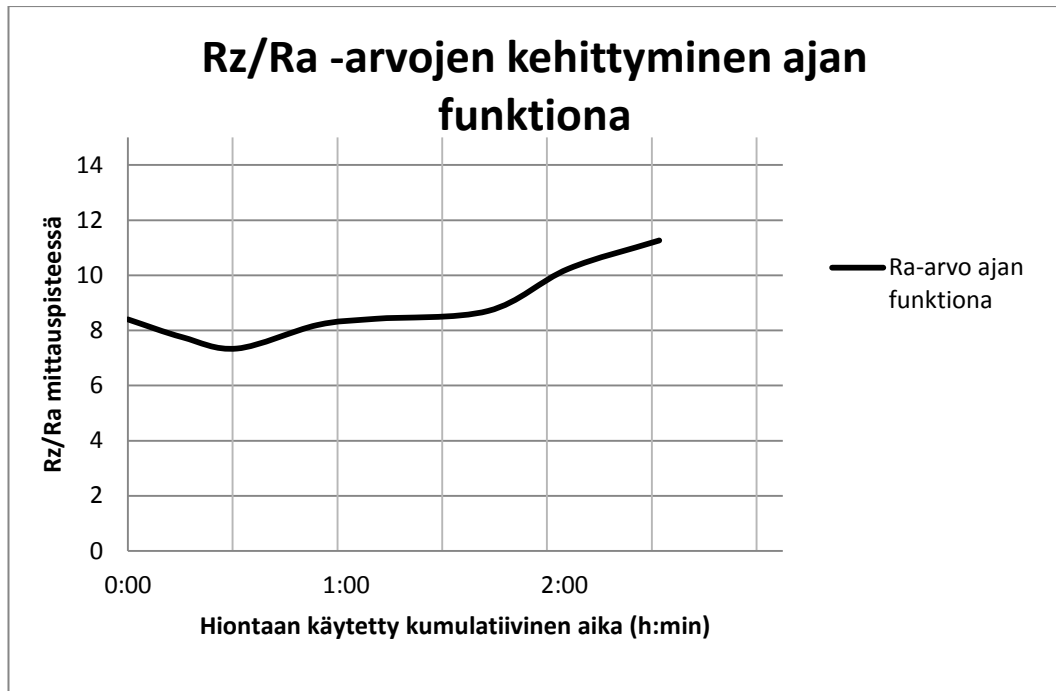
Taulukko 7.9. *Polymeeripintaisen telan kunnostushionnan tärkeimmät ajoparametrit ja tulokset.*

Toimin- to	Nousu ka. (mm)	Ylityksiä (kpl)	Paine (bar)	Nauha	Aloit- tus (klo)	Lope- tus (klo)	Kesto	Ku- mul kesto	Ra	Rz
1.				Alkumittaus				0:00	0,40	3,40
2.	10,0	2	1,50	60 μ Al100	9:39	9:54	0:15	0:15	1,36	10,56
3.	19,8	4	1,00	60 μ Al100	10:08	10:23	0:15	0:30	1,59	11,70
4.	13,3	4	1,50	40 μ Al100	10:37	11:09	0:22	0:52	1,04	8,54
5.	8,5	2	1,50	40 μ Al100	11:18	11:34	0:16	1:08	0,84	7,08
6.	20,0	5	1,50	40 μ Al100	12:28	12:59	0:31	1:39	0,71	6,19
7.	12,8	4	1,00	15 μ Al100	13:14	13:36	0:22	2:01	0,53	5,41
8.	5,0	2	1,00	15 μ Al100	13:50	14:15	0:25	2:26	0,44	4,96
Sum- ma:		19					2:26			
Ka:	11,6	3,2	1,3							

Kuten taulukosta 7.9 voidaan havaita, meni hiontaan kokonaisuudessaan noin 2,5 tuntia hionta-aikaa. Hionnan aloitus ja lopetus kellonaikojen perusteella hiontaan käytetty aika on huomattavasti suurempi, mutta tuo aika kului käytännössä telan tarkkaan mittaami-
seen, dokumentointiin ja ruokatuntiin.

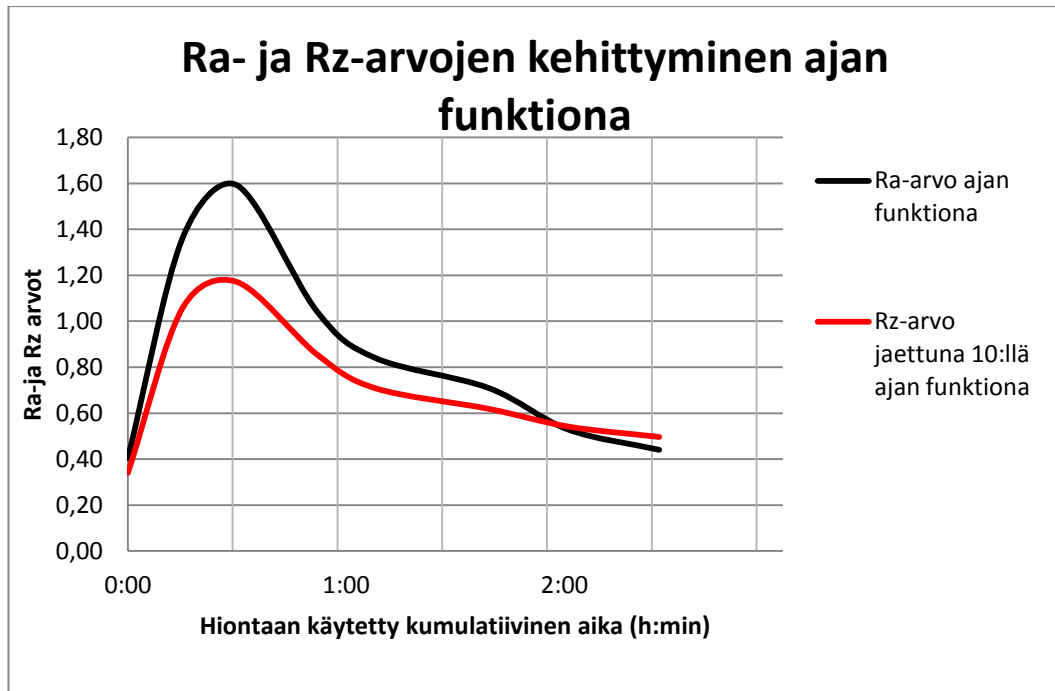
Hionnan alkuvaiheessa hiontalaite alkoi täristä, jonka vuoksi telan pintaan jäi silmällä havaittavia värinäjäлкиä. Näiden värinäjäלקien pinnankarheus oli pinnankarheusmittarilla mitattuna kuitenkin sama kuin muulla telalla. Värinä loppui vaihtamalla hionnassa käytetty kontaktitela pehmeämpään. Hionta-ajasta noin tunti meni 40 μ nauhallalla hakkaamajälkien poistamiseen.

Kuvissa 7.10 ja 7.11 on esitetty Rz- ja Ra-arvojen kehitys ajan funktiona sekä niiden suhde. Kuvaajat näyttävät seuraavan samaa kaavaa kuin termotelan tapauksessa, tosin sillä erotuksella, että arvot poikkeavat suuruusluokaltaan huomattavasti terästelän vastaavista.



Kuva 7.10. *Polymeeripinnan Ra- ja Rz-arvojen suhteen kehittyminen ajan funktiona.*

Myös polymeeripinnasta tutkittiin Rz- ja Ra-arvojen kehitystä hinnan aikana. Jos verrataan arvoja terästelän termotelan vastaaviin arvoihin, on Ra- ja Rz-arvojen suhde matalampi kuin terästelalla. Tästä voidaan siis päätellä, että pintaa voidaan pitää tasaisempaan pintana, jossa syvien naarmujen ja kiillottuneiden kohtien määrä on pienempi. Tämä havainto näkyi käytännössä myös siten, että johtuen suuremmasta materiaalin poistosta, edellisen nauhan jälkien pois saaminen oli nopeampaa polymeeritelan pehmeällä pinnalla. Nauhan vaihdon viedessä aikaa, voisi tällä pinnoitteella olla pohtimisen arvoista jättää joitain karheuksia kokonaan väliin koko hiontaprosessin nopeuttamiseksi.



Kuva 7.11. Polymeeripinnan Ra- ja Rz-arvojen kehittyminen ajan funktiona.

Taulukossa 7.12 on käsitelty yhteenvedona polymeeritelan muodon mitattavia tärkeimpiä suureita. Taulukosta voidaan havaita ympyrämäisyyden olevan telan käyttöpäässä heikompia kuin keskellä. Tästä voidaan tehdä johtopäätös, että telan käyttöpää saa herätteen joko paperikoneessa tai hionnan aikana, joka heikentää ympyrämäisyyttä. Telahiojien mukaan tällä telatyypillä käyttöpää jää huonommaksi lähes poikkeuksetta.

Taulukko 7.12. Yhteenvedo polymeeritelan mitoista ennen ja jälkeen hionnan.

	Säteisheitto (μm)			Ympyrämäisyys (μm)			Halkaisijavaihtelu (μm)
	HP	Keskellä	KP	HP	Keskellä	KP	Telan matkalla
Ennen	18	20	28	11	11	18	61
Jälkeen	19	24	26	9	11	17	45

Muutoin polymeeritelan käyttäytyminen muodon suhteen oli hyvin samankaltaista verrattuna termotelaa, pois lukien telan halkaisijavaihtelun maksimiero. Tämä selittyy osin sillä, että tela oli hiontaan tullessa osittain keskeltä lämpimämpi kuin päädyistä, sekä mittaus aloitettiin osittain päätyviisteen alueelta. Materiaalin poiston myötä halkaisijavaihtelun maksimiero on näennäisesti pienempi, mutta käytännössä muoto pysyy samana, joka näkyy myös liitteinä 4-6 olevista mittapöytäkirjoista.

7.4 Hionnat paperikoneelle sijoitetulla laitteistolla

Hiomakoneella tehtyjen kokeiden jälkeen hiontalaitteistoa kokeiltiin myös Jämsänkosken PK4:n kalanterin termotelalla. Telalle suoritettiin kaksi eri hiontaa, joista toisessa poistettiin syviä naarmuja ja toisessa parannettiin ainoastaan kiiltoa hienolla hiomanau-

halla. Molemmilla hiontakerroilla telan pinnasta onnistuttiin saamaan täysin tuotantokelpoinen ilman pintaa merkitseviä naarmuja.

Naarmujen poistohionnassa telan hiontaan meni nauhanvaihtojen ja telan pinnankarheuden mittauksiin liittyvien taukojen kanssa 7 tuntia ja 7 minuuttia. Telasta saatiin häivytettyä kaikki naarmut ja lopulliseksi pinnankarheudeksi jäi Ra-arvo 0,08. Tela hiottiin telahiomossa tehtyjen hiontatestien perusteella, joissa hiomanauhoiksi valittiin kolme eri karheuksista alumiinioksidi nauhaa, jotka olivat 60 μ m, 30 μ m, ja 15 μ m hiomanauhat. Näistä 60 μ m nauhalla tehtiin töitä 3 tuntia ja 20 minuuttia, 30 μ m nauhalla 1h 29 minuuttia ja 15 μ m nauhalla 2 tuntia ja 22 minuuttia.

Hionnan yhteydessä tehtiin havainto, että vielä 30 μ m nauha poistaa materiaalia jonkin verran. Yhteenvetona 60 μ m nauhalla olisi voinut tehdä töitä noin tunnin vähemmän, 30 μ m nauhalla noin puoli tuntia pidempään, joka olisi säästänyt aikaa 15 μ m nauhalla viimeistä pintaa tehtäessä. Kuvassa 7.13 hionta on käynnissä 60 μ m alumiinioksidinauhalla. Telan karheus kuvassa on noin Ra 0,22 ja Rz 2,1.



Kuva 7.13. Termotelan hiontaa 60 μ m karhealla hiomanauhalla.

Koe hiontojen yhteydessä havaittiin myös, että vaikka naarmuja ei poistettaisi kokonaan, eivät ne enää välttämättä näy valmiissa paperissa. Tutkimisen arvoiseksi asiaksi jää, päästäänkö pelkällä 15 μ m alumiinioksidi hiomanauhalla riittävän hyvään lopputulokseen paperin laadun kannalta.

8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Paperikone teloineen ja niiden käyttäytymiseen liittyvineen muuttujineen on laaja kokonaisuus ja mielestäni näin uudella kunnossapitomenetelmällä paperikonetta lähestyttäessä oli hyvä ottaa koko paperikone tarkastelun alle ja pohtia useasta eri näkökulmista runkovälissä tehtävien töiden tarjoamia mahdollisuuksia ja haasteita.

Kun mahdolliset sovelluskohteet on kartoitettu, on hyvä syventyä laitepaikka-kohtaisesti tarkempiin teknisiin ja taloudellisiin yksityiskohtiin. Lähestymällä yksittäisiä laitepaikkoja satunnaisesti, saadaan toki mahdollisia ongelmia ratkaistua, mutta kokonaisuuden kannalta paras mahdollinen ratkaisu voi jäädä saavuttamatta.

8.1 Yhteenveto

Pohdittaessa tehdastasolla paperikoneella tehtävien telapintojen kunnostuksen ottamista paperikoneen vakituiseen huolto-ohjelmaan, havaittiin hyväksi lähestymistavaksi luvussa 6.2 esitetty lähestymistapa mahdollisiin huoltokohteisiin, jossa ensin kartoitetaan konelinjoittain kaikki potentiaaliset huoltokohteet ja vasta tämän jälkeen aloitetaan niiden lähempi tekninen tarkastelu.

Teknisen toteutuksen kannalta havaittiin olennaisiksi yleinen työsuunnittelu, telan tarvittavat toleranssit ja niiden toteutuminen. Telakohtaisia yleistoleransseja on vaikeaa antaa paperikoneelle yleensä ja siksi nämä on hyvä tarkistella telakohtaisesti, minkä mittojen toteutuminen kyseisessä kohteessa on tärkeää. Teknisistä lähtökohdista havaittiin parhaiten soveltuviksi runkovälikohteiksi ne telat, jotka ovat käytöllisiä sekä pysyvät hyvin muodossaan, mutta joihin tulee pienen mittakaavan pinnoitevirheitä.

Taloudellisia lähtökohtia ajatellen suurimmat säästöt ovat saavutettavissa tuotannosta, mikäli sen laatu kyetään pitämään korkeammalla tasolla tai tuotantoa saadaan tehostetua huoltohiontojen kautta. Toinen selkeästi havaittava säästökohde on ohutpintaissa korkean pinnoitteen hinnan omaavissa telojen pinnoitteissa, kuten keskitelojen keraami-pinnoissa ja kalanterilla käytetyissä kovapinnoitteissa.

Tutkimuksessa mallinnettiin yhden telan hionnasta aiheutuvaa hintaa ja päädyttiin toimintopohjaiseen kustannuslaskentaan, jossa kyseisen telan hionnasta aiheutuvien toimintojen arviointi jää laskijan vastuulle. Tähän lopputulokseen päädyttiin siksi, että jo lähtökohtaisesti paperitehtaiden välillä telahionnan kustannukset voivat vaihdella suuresti, sillä kaikissa tehtaissa ei ole omaa telahiomoa ja telahiomon kalustuksesta riippuen kaikkia tarvittavia toimenpiteitä ei voida kaikille teloille suorittaa.

Telapintojen huolto ja hiontamenetelmien tutkimuksessa osoittautui, että nykyään tehtaan ulkopuolisten yritysten tekemät työt ovat pitkälti paperikoneen kunnossapidon näkökulmasta kerta luontoisia töitä, joita ei välttämättä ole järkevää alkaa yhdistämään tehtaan omaan kunnossapitoon. Kehitettäessä laitteita tehtaan kunnossapitoon, on kehityksen tärkeänä lähtökohtana, tuleeko laitteiston palvella ennemmin tuotantoa vai

tehtaan kunnossapitoa. Tuotannon käyttämissä laitteissa korostuvat eri vaatimukset kuin kunnossapidon välineissä. Seuraavassa on listattu tutkimuksessa havaittuja tärkeitä piirteitä kehitettäessä laitteita kunnossapidolle tai tehdaspalvelulle.

- Vaatimuksia tuotannon laitteille:
 - kiinteä, yhteen laitepaikkaan sijoitettava laite
 - käyttö integroitu mahdollisimman pitkälle tuotannon yhteyteen
 - paperin laadun ylläpito
 - yllättävien vaurioiden korjaaminen
 - säilyttää telan muodon sille asetettujen toleranssien sisällä
- Vaatimuksia kunnossapidon laitteille:
 - mahdollisimman laaja käyttöalue koko tehtaan tarpeet huomioiden
 - kiinteä leveys tietyn paperikoneen runkovälin mukaan sovitettuna
 - muuttuvat leveys eri paperilinjoiden tarpeiden mukaan
 - suunnitelmalliseen runkovälitelahuoltoon
 - säilyttää telan muodon sille asetettujen toleranssien sisällä
 - muotoa korjattaessa mittaus ja dokumentaatio telan toleranssien vaatimalla tavalla

Kuten edellisestä vaatimuslistasta voidaan nähdä, on laitteen loppukäyttäjällä ja tehtaan muulla jo olemassa olevalla huoltokalustolla suuri merkitys kunnossapitolaitteen vaatimusten osalta.

8.2 Jatkotutkimus ja kehitystyön tarpeet

Telojen paperikoneella tapahtuvat kunnossapitoon liittyvät menetelmät ja välineet on kohtalaisen uusi ja tutkimaton aihealue, jossa on paljon tutkittavaa ja kehitettävää jäljellä. Alalla toimivien yritysten haastatteluissa tuli useita mittaukseen ja työöstekniikkaan liittyviä sovelluksia, joita yhdistelemällä voitaisiin saada aikaan kustannustehokkaita ja tarkkoja runkovälityölaitteita. Tämän työn puitteissa ei ollut resursseja lähteä syventymään kuin joihinkin kapeisiin aihealueisiin syvällisemmin, mutta joitakin mahdollisia kehityskohteita havaittiin tutkimuksen ohessa.

8.2.1 Hiomanauhat

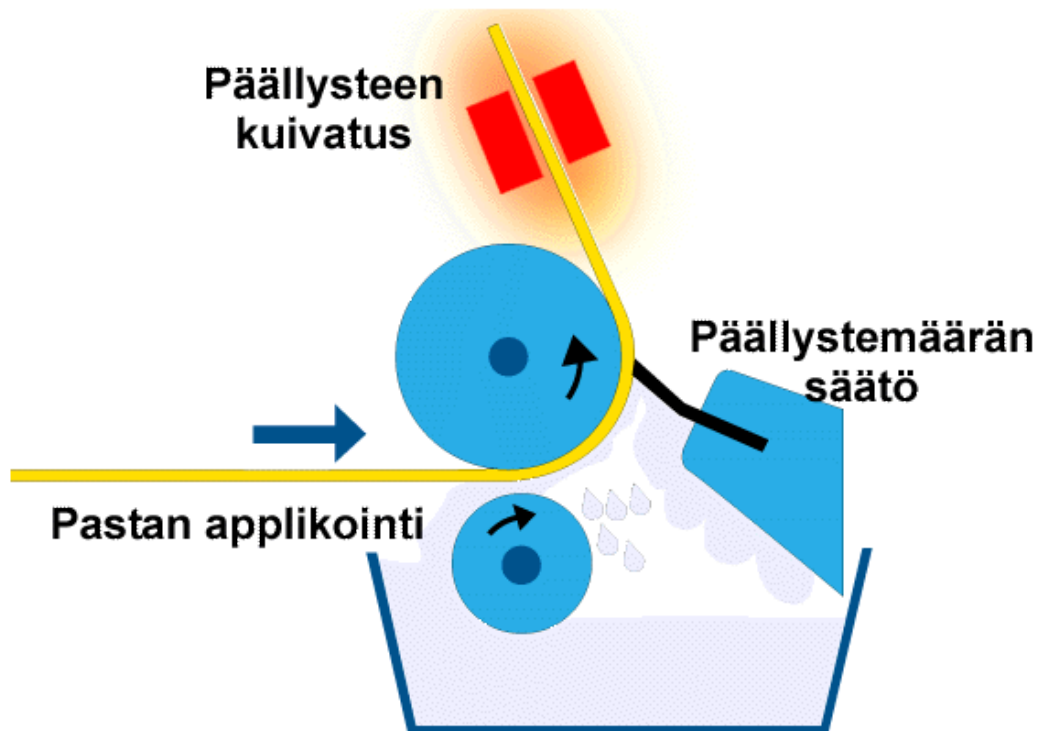
Tuotannolle hiomalaitetta tehtäessä aineen poistoon vaadittavat karheammat nauhat ja riittävän pinnankarheuden saavuttamiseen vaadittavat sileämmät hiomanauhat vaativat hiomakoneen käyttäjiltä hiomanauhan vaihtoja. Nauhan vaihto vaati aina turvallisuussyistä hiottavan telan ja hiomakoneen pysäyttämisen. Jos viimeistelyhiontalaitteeseen voitaisiin asentaa hiomanauha, joka toteuttaisi kaikki hionnassa tarvittavat karheudet yhdellä kertaa, voitaisiin koko telan hionta suorittaa yhtenä toimintona ilman hiomanauhan vaihtoja. Tällä saavutettaisiin huomattavasti nopeampi telan hiontaprosessi sekä hionta tulisivat yksinkertaisemmaksi, jolloin se olisi käyttäjän kannalta helpompi hallita.

Käytännössä tämä olisi helpointa liitämällä ennalta määrättyjä määriä sopivia hiomauhoja toisiinsa saumalla, jota ei merkkää telaa nauhan vaihtuessa. Pienestä aineenpoistosta johtuen nauhan vaihtuminen hienompaan yhden ylityksen aikana ei pitäisi aiheuttaa ongelmia hiottavan telan muodolle.

8.2.2 Telan dynaamisen muodon korjaus paperikoneella

Kuten useissa tutkimuksissa on todettu, telan dynaaminen muoto paperikoneessa dynaamisessa tilassa on telahiomon staattisesta mittauksesta poikkeava telaan kohdistuvista voimista ja epätasaisesta lämpölaajenemisesta johtuen. Esimerkiksi Kuosmasen 2004 suorittamassa tutkimuksessa *"Predictive 3d roll grinding method for reducing paper quality variations in coating machines."* oli lähestymistavaksi otettu telan dynaamisen muodon tarkka mittaaminen paperin valmistusprosessissa ja tela hiottiin näiden mittausten perusteella optimoiden telan dynaaminen muoto.

Vastaavasti tutkimuksessa *"Kunnostuksen vaikutus vastatelan dynaamiseen käyttäytymiseen"* tutkitaan vastatelan kunnostusta ja kunnostuksen tavoitteena on saada vastatelan dynaaminen säteisheitto päällystysaseman terän kohdalla mahdollisimman pieneksi. Kuvassa 8.1 on esitetty päällystysaseman toimintaperiaate.



Kuva 8.1. Teräpäällystysaseman toimintaperiaate. [Knowpap]

Päällystysaseman telan hiontalaitteella saavutettavat säästöt tulisivat tuotannon näkökulmasta nopeilla paperikoneilla säteisheiton aiheuttaman neliömassavaihtelun ja tarvittavan pastamäärän myötä. Hionta suoritettaisiin tässä tapauksessa konenopeudella pois-

taen tarvittava säteisheitto, joka on vastatelan käyttäytymiseen perustuvien tutkimusten mukaan noin millin kymmenesosan luokkaa telan halkaisijalla.

Mekaniikan osalta laitteisto voisi olla kiinteästi asennetulle johdepalkille sijoitettu nauhahiomakone, joka hioisi päällystysaseman telan säteisheiton pois terän vastapuolelta. Suurimmalla osalla päällystysasemista on olemassa päällystysaseman terän poikisuuntainen profilointi, joten johteiden ei tarvitsisi olla välttämättä koko matkalla täysin suorat, vaan paperilaadusta ja päällystys asemasta riippuen tietty virhe metriä kohden telan halkaisijalla voisi olla riittävä. [Tehdaspalvelu]

8.2.3 Kevyt hiomakone paperikoneen yhteyteen

Useilla paperitehtailla ei ole ollenkaan omaa telahiomoa. Riippuen paperikoneesta, osa sen teloista ei tarvitse toleranssien osalta läheskään kaikkia ominaisuuksia, mitä saavutetaan perinteisellä hiomakoneella. Nykyistä mittaustekniikkaa ja hiontaohjelmia käyttäen, ei välttämättä tarvita enää täysin jäykkä hiomakonetta jonka osien toleranssit määrittävät telan tarkkuuden, vaan tarkalla mittaamisella ja sen yhteen kehitetyillä muodon kompensatio-ohjelmilla voitaisiin päästä huomattavan suuriin tarkkuuksiin ilman raskaita perustuksia ja raskaita joustamattomia hiomakoneita.

8.2.4 Hiontalaitteet lyhyen matkan tarkkaan hiontaan

Tämän tutkimuksen yhteydessä havaittiin, että paperikoneen telat kuluvat usein siten, että telan päätyalueet jäävät koholle. Kalanterin telat, jotka käyvät usein muotohionnassa päätyaleen kulumisen takia, voitaisiin korjata paperikoneella telan laakeripesään kiinnitettävällä hiomalaitteella. Paperikoneen telan halkaisijavaihtelun mittaaminen esimerkiksi referenssisuoraan perustuen on huomattavasti helponmaa lyhyellä kuin matkalla koko telan mittaan verrattuna.

Tällä menetelmällä voitaisiin saavuttaa säätöjä etenkin karkaistuilla ja kromatuilla kalanterin teloilla, joilla telapinnan karkeneminen tai muodon muutokset eivät ole pääasiallinen ongelma, vaan ainoastaan telan kulumisen myötä telan päätyjen ylösjääminen. Tämä ilmiö voidaan osittain havaita myös liitteistä 1 ja 2, joissa telojen halkaisija kasvaa jyrkästi telan päätyalueilla.

8.2.5 Mittaustekniikka

Telahiomojen käyttöön olemassa oleva mittaustekniikka perustuu poikkeuksesta siihen, että tela päästään mittaamaan mittakaaren avulla, jossa on käytettävissä 180° telan halkaisijasta. runkovälissä tähän ei ole yleensä tilaa, joten neljänneistä mitta-anturista voitaisiin luopua ja siirtyä noin 70° telan kehältä tarvitsevaan mittakaareen. [Syrjänen] Siirryttäessä noin 70° telan kehältä tarvitsemaan mittakaareen, eivät telojen oheislaitteet olisi enää mittauksen tiellä.

Yhdistämällä tarkka runkovälimittaustekniikka sekä hallittu materiaalin poisto, voitaisiin tela telat hioa oikeaan muotoonsa paperikoneella. Sovellusalueita voisivat olla

dynaamisen muodon kannalta vaikeasti hallittavat pienen materiaalin poiston telat, kuten päällystysaseman vastatelat ja kalanterin telat.

Paperikoneella lyhyellä matkalla syntyvät geometriset virheet ovat havaittavissa myös viiraosalla paperikoneen viirojen kulumisena päätyalueilta. Jämsänkosken paperikoneiden käyttöinsinöörien mukaan kulumisen johtuu joko vedenpoistoelementtien tai telojen päätyalueiden kulumista. Vedenpoistolistojen ja viiraosan telojen päätyalueiden kuluneisuuden mittaamiseen ja huoltamiseen soveltuva kunnossapitolaitteisto lisäisi viirojen kestoa sekä viiraosan vedenpoistoon liittyvien osien vaihtotarvetta.

LÄHTEET

[Widmaier] Thomas Widmaier. 2012. Optimisation of the roll geometry for production conditions. Doctoral dissertations 156/2012. Helsinki, Unigrafia Oy. 127 s.

[Paperiteknikka] Paperinjalostustekniikka, Opintomoniste. Tampereen Teknillinen Yliopisto.

[Juhanko 2011] Dynamic geometry of a rotating papermachine roll. Doctoral dissertations 117/2011. Helsinki, Unigrafia Oy. 163 s.

[Raippa III] Jari Juhanko, Panu Kiviluoma, Jukka Pirttiniemi, Esa Porkka, Jari Toiva. 2005. Telojen ja telajärjestelmien käyttäytyminen prosessiolosuhteissa. Teknillisen korkeakoulun Koneensuunnittelun julkaisuja 2/2005. 80 s.

[Knowpap] Knowpap 13.0. 12/2011. [WWW]. [Viitattu 8.1.2013]. Saatavissa: https://www.tut.fi/pop/pap/suomi/knowpap_system/user_interfaces/frontpage.htm.

[Räisänen] Markku Räisänen 1989. Paperitehtaan telojen koneistuksen kehittäminen. Diplomityö. 144s.

[Fepa] Federation of European Producers of Abrasives. [WWW]. [Viitattu 26.2.2013] <http://www.fepa-abrasives.org/DesktopDefault.aspx?portalname=www.fepa-abrasives.org&language=E&folderindex=0&folderid=3&headingindex=7&headingid=80&tabindex=1&tabid=273>

[Kuosmanen] Petri Kuosmanen. 2004. Predictive 3d roll grinding method for reducing paper quality variations in coating machines. Otamedia Oy. 91s.

[Kunnostuksen vaikutus] Jukka Pullinen, Jari Juhanko, Petri Kuosmanen 1997. Kunnostuksen vaikutus vastatelan dynaamiseen käyttäytymiseen. 72s.

[Tehdaspalvelu] Haastattelu 10.1.2013. Voitto Rauhala, Risto Rämänen. UPM-Kymmene Oyj.

[Pyynikki] Haastattelu 1.2.2013. Teppo Syrjänen. Pyynikki Engineering Oy.

[Metso] Haastattelu 13.2.2013. Janne Mannström, Metso Paper Oy.

[Lincer] Haastattelu 19.2.2013. Jari Kenakkala, Kari Korpiola Lincer Oy.

[Voith] Haastattelu 28.2.2013. Kari Kanerva. Voith GmbH.

[PK-Tekniikka] Haastattelu 1.3.2013. Eero Latvastenmäki. PK-Tekniikka Oy.

[Wintech] Haastattelu 15.3.2013. Mikko Ilola, Kari Koirikivi Wintech Oy.

[Tribologia] Kivioja, Kivivuori ja Salonen. 2007. Tribologia – kitka, kuluminen ja voitelu. 5. korjattu painos. Helsinki, Otatieto346 s.

[Accretech] [WWW]. [Viitattu 8.1.2013]. Saatavissa:

http://www.accretech.jp/english/pdf/measuring/sfexplain_e.pdf

[Teollisuustalous] Matti J. Haverila, Erkki Uusi-Rauva, Ilkka Kouri, Asko Miettinen. 2005. Teollisuustalous. 5. painos. Tampere, Infacts Oy 510s.

[Unique Coat] [WWW]. [Viitattu 7.3.2013]. Saatavissa: <http://uniquecoat.com/>

[Turunen] Erja Turunen. 2005. Diagnostic tools for HVOF process optimization. Ota-media Oy, Espoo. 66 s.

[Rolltest] [WWW]. [Viitattu 26.3.2013] Saatavissa: <http://www.rolltest.fi>

[ISO 1101] Geometrinen tuotemääritys (GPS). 2006. Geometriset toleranssit. Muodon, suunnan, sijainnin ja heiton toleranssit. 117s.

LIITTEET

1. Liite: Termotelan 4002 halkaisijaprofiili ennen hiontaa.
2. Liite: Termotelan 4002 halkaisijaprofiili hionnan jälkeen.
3. Liite: Termotelan 4002 ympyrämaisyyssprofiili ennen hiontaa.
4. Liite: Termotelan 4002 ympyrämaisyyssprofiili hionnan jälkeen.
5. Liite: Polymeeritelan 408 halkaisijaprofiili ennen hiontaa.
6. Liite: Polymeeritelan 408 halkaisijaprofiili hionnan jälkeen.



UPM-Kymmene Oyj
Mittaja

Halkaisijaero Ennen hiontaa

Jarkko Sihvo 2013-01-22 12:28:26



TELATIEDOT

Asiakas
Työnumero
Telanumero
Tyyppi
Pituus
Massa
Bombeeraus 1/2
Bombeerauspituus 1/2
Bombeerauskulma 1/2
Bombeerauspituus 3
Lisätietoja

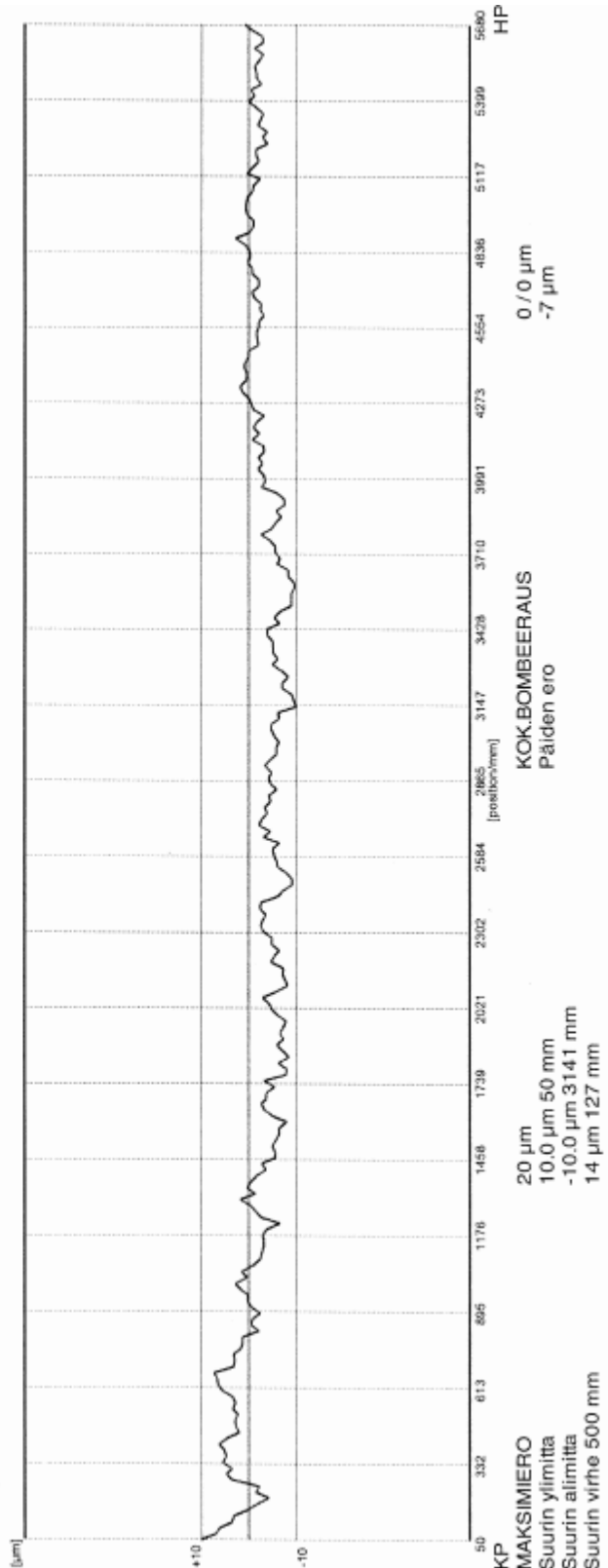
Jämsänkoski/PK4
4002
SOFT.TERMOTELA
5730 mm
0 kg
0.00/0.00 mm
0.0/0.0 mm
0/0 °
0.0 mm

MITTAUSTIEDOT

Halkaisija
Pyörimisnopeus
Mittauspituus
Aloituspää / Aloituskohta
Ra
Mittattu kovuus
Toleranssi alue
Skaalaus
Kulma

914.60 mm
4.0 rpm
5630 mm
Käyttöpää / 50 mm

0.020 mm
100 µm
342°





UPM-Kymmene Oyj
Mittaja

Halkaisijaero Hionnan jälkeen

Juha Haapala 2013-01-23 00:14:01



TELATIEDOT

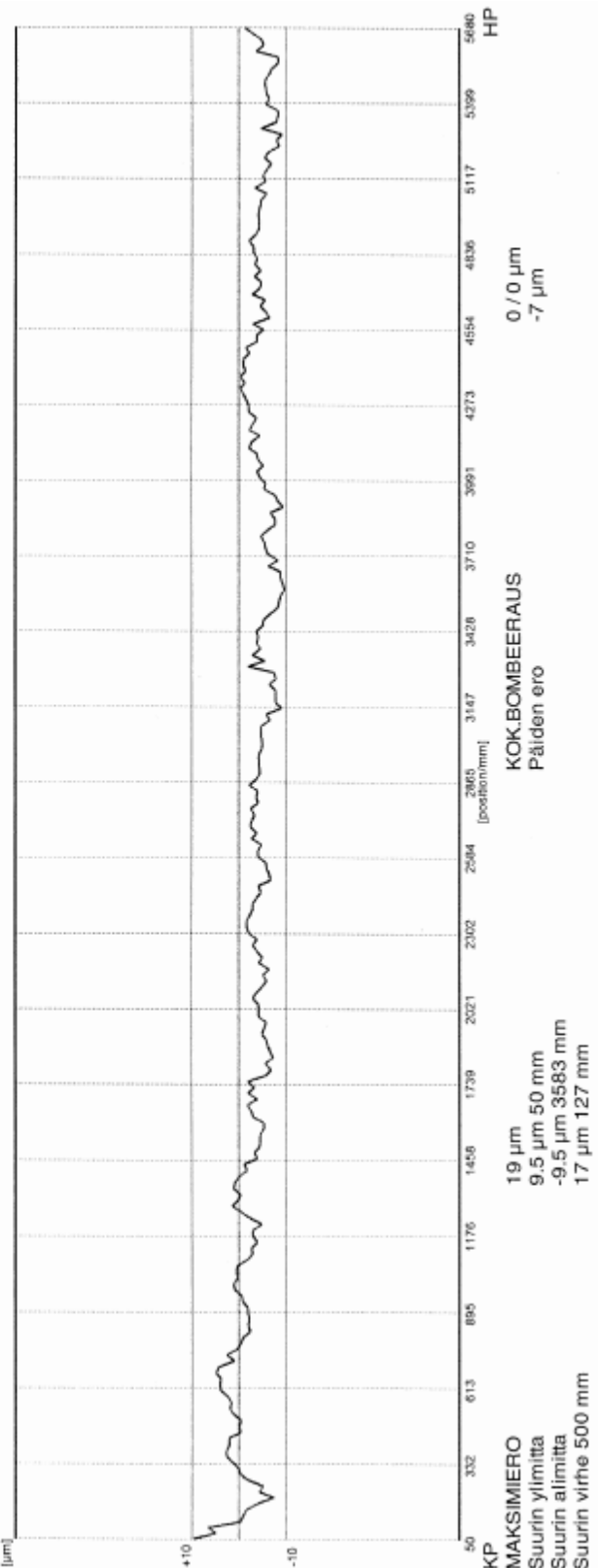
Asiakas
Työnumero
Telanumero
Tyyppi
Pituus
Massa
Bombeeraus 1/2
Bombeerauspituus 1/2
Bombeerauskulma 1/2
Bombeerauspituus 3
Lisätietoja

Jämsänkoski/PK4
4002
SOFT.TERMOTELA
5730 mm
0 kg
0.00/0.00 mm
0.0/0.0 mm
0/0 °
0.0 mm

MITTAUSTIEDOT

Halkaisija
Pyörimisnopeus
Mittauspituus
Aloituspää / Aloituskohta
Ra
Mittattu kovuus
Toleranssi alue
Skaalaus
Kulma

914.60 mm
4.0 rpm
5630 mm
Käyttöpää / 50 mm
0.020 mm
100 µm
344°





UPM-Kymmene Oyj
Mittaaaja

Ympyrämäisyys Ennen hiontaa

Jarkko Sihvo 2013-01-22 12:27:26

TELATIEDOT

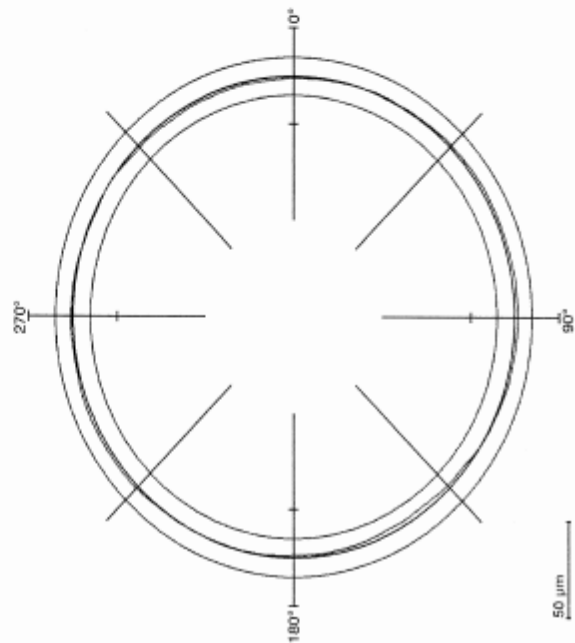
Asiakas
Työnumero
Telanumero
Tyyppi
Pituus
Massa
Bombeeraus 1/2
Bombeerauspituus 1/2
Bombeerauskulma 1/2
Bombeerauspituus 3
Lisätietoja

Jämsänkoski/PK4
4002
SOFT.TERMOTELA
5730 mm
0 kg
0.00/0.00 mm
0.0/0.0 mm
0/0 °
0.0 mm

MITTAUSTIEDOT

Halkaisija
Pyörimisnopeus
Mittauspituus
Aloituspää / Aloituskohhta
Ra
Mitattu kovuus
Toleranssi alue
Skaalaus

914.60 mm
4.0 rpm
5630 mm
Hoitopää / 5680 mm
0.000 mm
50 µm



MITTAUSPAIKKA
MAKSIMIERO
Suurin ylimita
Suurin alimita

2865 mm (Keskeliä)
4 µm
1.8 µm 247°
-2.6 µm 143°



Liite 3. Termotelan 4002 ympyrämäisyysprofiili ennen hiontaa.



UPM-Kymmene Oyj
Mittaaaja

Ympyrämäisyys Hionnan jälkeen

Juha Haapala 2013-01-23 00:13:01



TELATIEDOT

Asiakas
Työnumero
Telanumero
Tyyppi
Pituus
Massa
Bombeeraus 1/2
Bombeerauspituus 1/2
Bombeerauskulma 1/2
Bombeerauspituus 3
Lisätietoja

Jämsänkoski/PK4
4002
SOFT.TERMOTELA
5730 mm
0 kg
0.00/0.00 mm
0.0/0.0 mm
0/0 °
0.0 mm

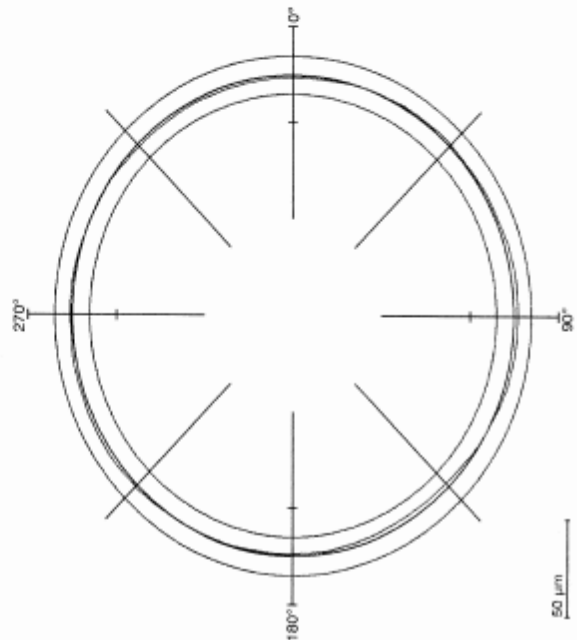
MITTAUSTIEDOT

Halkaisija
Pyörimisnopeus
Mittauspituus
Aloituspää / Aloituskohta
Ra
Mittattu kovuus
Toleranssi alue
Skaalaus

914.60 mm
4.0 rpm
5630 mm
Hoitopää / 5680 mm
0.000 mm
50 µm

MITTAUSPAIKKA
MAKSIMIERO
Suurin ylimita
Suurin alimita

2865 mm (Keskeltä)
5 µm
2.2 µm 79°
-2.6 µm 150°





UPM-Kymmene Oyj

Mittaaja

Halkaisijaero Ennen hiontaa

Jarkko Sihvo 2013-02-08 08:24:49



TELATIEDOT

Asiakas

Työnumero

Telänumero

Tyyppi

Pituus

Massa

Bombeeraus 1/2

Bombeerauspituus 1/2

Bombeerauskuuma 1/2

Bombeerauspituus 3

Lisätietoja

Jämsänkoski/PK3

3408

SOFT POLYMEER

4490 mm

0 kg

0.00/0.00 mm

0.0/0.0 mm

0/0 °

0.0 mm

MITTAUSTIEDOT

Halkaisija

Pyörimisnopeus

Mittauspituus

Aloituspää / Aloituskohda

Ra

Mittattu kovuus

Toleranssi alue

Skaalaus

Kulma

624.25 mm

0.0 rpm

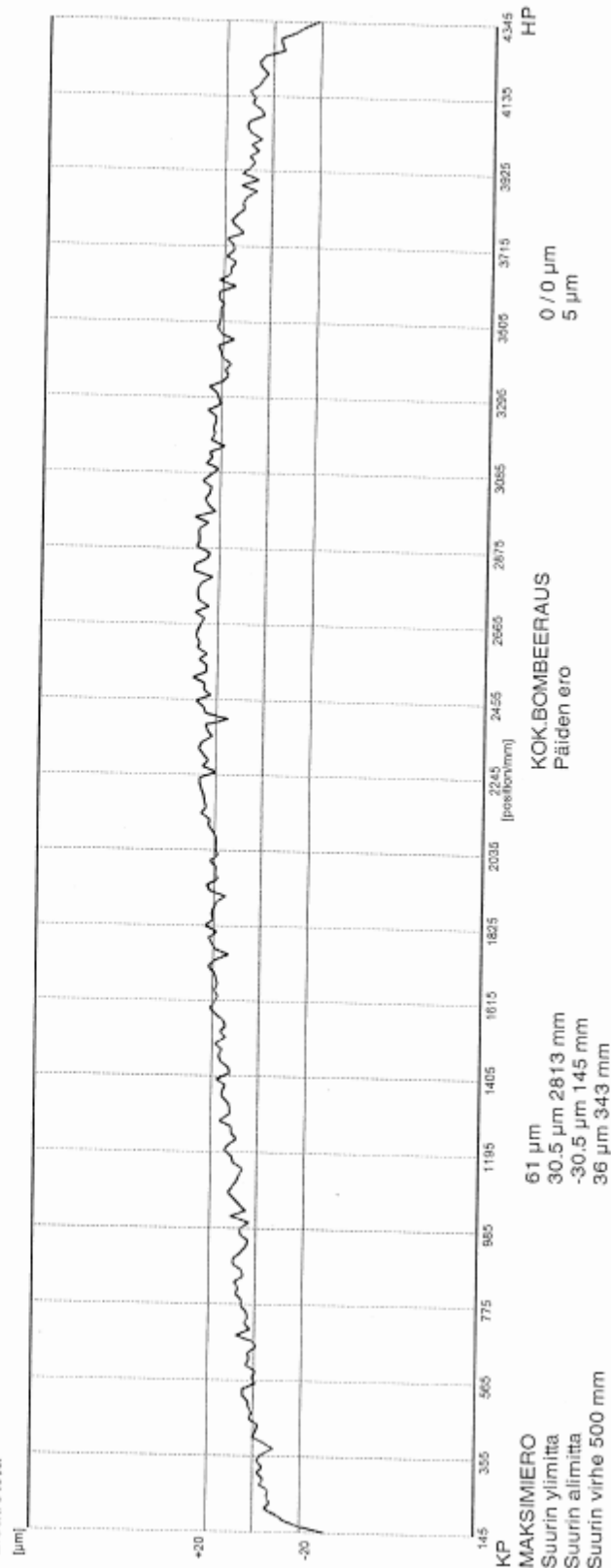
4200 mm

Käyttöpää / 145 mm

0.040 mm

200 µm

24°



Liite 6. Polymeeritelan 408 halkaisijaprofiili hionnan jälkeen.

